

## Bereitstellung des regional angepassten Entscheidungshilfesystems LandCaRe-DSS

### Produkt 3.3.1g

Version: 1.3  
Status: final  
Datum: 06.02.2013

#### TP 3.1.1 - TP Anpassungsstrategien im Pflanzenbau

TP-Leiter: Prof. Dr. Christian Bernhofer  
Professur Meteorologie, TU Dresden

Bearbeiter: Dr. Barbara Köstner  
Professur Meteorologie, TU Dresden

Kontakt: Dr. Barbara Köstner  
Professur Meteorologie, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Technische Universität Dresden  
01062 Dresden  
Tel.: 0351-463-39100  
Fax: 035203-38-31203  
E-Mail: [barbara.koestner@tu-dresden.de](mailto:barbara.koestner@tu-dresden.de)

#### **REGKLAM**

#### **Entwicklung und Erprobung eines Integrierten Regionalen Klimaanpassungsprogramms für die Modellregion Dresden**

Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung  
Förderkennzeichen: 01 LR 0802

Koordination: Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR)  
Weberplatz 1, 01217 Dresden  
Projektleiter: Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Müller

**[www.regklam.de](http://www.regklam.de)**

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	5
2. Aufgaben und Ziele.....	5
3. Methoden und Modelle .....	6
3.1 STRUKTUR DES LANDCARE-DSS .....	6
3.1.1 <i>Komponenten und Integrationsebenen</i> .....	6
3.1.2 <i>Modelle zur Analyse von Klima und Klimawirkungen</i> .....	7
3.1.3 <i>Nutzungsversionen des DSS</i> .....	7
3.2 ERWEITERUNG AUF DIE MODELLREGION DRESDEN.....	8
3.2.1 <i>Ergänzung der Klimadatenbank</i> .....	8
3.2.2 <i>Räumliche Erweiterung</i> .....	9
4. Ergebnisse und Diskussion.....	9
4.1 KLIMAANALYSE AN STATIONEN UND GITTERPUNKTEN.....	9
4.1.1 <i>Trend von Temperatur und Niederschlag</i> .....	10
4.1.2 <i>Trend von Klimaindizes</i> .....	11
4.1.3 <i>Phänologische Jahreszeiten</i> .....	13
4.1.4 <i>Entwicklungsstadien landwirtschaftlicher Fruchtarten</i> .....	15
4.2 ANALYSE VON FOKUSGEBIETEN IN AGRARSTRUKTURREGIONEN .....	17
4.2.1 <i>Auswahl von Fokusgebieten</i> .....	17
4.2.2 <i>Simulation des Ernteertrages</i> .....	19
4.2.3 <i>Simulation des Zusatzwasserbedarfes</i> .....	21
4.3 ANALYSE AUF BETRIEBSEBENE .....	22
4.3.1 <i>Szenarios und Flächenauswahl</i> .....	22
4.3.2 <i>Ertrag und ökonomische Kennzahlen</i> .....	24
5. Zusammenfassung .....	27
6. Executive Summary.....	27
7. Literatur.....	29
8. Anhang .....	31

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Module und Integrationsebenen des LandCaRe-DSS.....	6
Abbildung 2: Nutzung verschiedener Datenbanken und Server für das LandCaRe-DSS .....	8
Abbildung 3: Benutzeroberfläche des LandCaRe-DSS (Desktopversion) mit Auswahl der Klimaprojektionen WEREX-IV, WETTREG2006, WETTREG2010 und CCLM in der Modellregion Dresden (blauer Rahmen). .....	8
Abbildung 4: Gebietsgrenzen des alten Projekts LandCaRe2020 (blau) und neu für REGKLAM (schwarz) mit Betriebsflächen von Modellbetrieben (rot: 1:Lommatzsch/Lößgebiet, 2: Radeburg/Heidegebiet, 3: Bastei/Sächsische Schweiz); Quelle: LfULG, ergänzt .....	9
Abbildung 5: Trend mit linearer Regression der Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B an der Station Dresden-Klotzsche (WETTREG, WEREX) bzw. den nächstgelegenen Gitterpunkten (CLM, REMO) .....	10

Abbildung 6: Trendverhalten mit linearer Regression des Verlaufs der Jahresniederschläge im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B der Station Dresden-Klotzsche (WETTREG, WEREX) bzw. den nächstgelegenen Gitterpunkten (CLM, REMO) ..	10
Abbildung 7: Trend mit linearer Regression des Verlaufs der Klimatischen Wasserbilanz im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B an der Station Dresden-Klotzsche (WETTREG, WEREX) bzw. den nächstgelegenen Gitterpunkten (CLM, REMO) unter dem Emissionsszenario A1B.....	11
Abbildung 8: Trend mit linearer Regression (LR) des Verlaufs der Thermischen Vegetationsperiode im Zeitraum 1961-2100 von verschiedenen Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B für Dresden.....	12
Abbildung 9: Trendverhalten mit linearer Regression (LR) des Verlaufs der Thermischen Vegetationsperiode im Zeitraum 1961-2100 der Klimaprojektion WETTREG2006, A1B, an verschiedenen Stationen in und um die Modellregion Dresden.....	12
Abbildung 10: Trend mit linearer Regression des Heliothermalindex nach Huglin (RIH) im Zeitraum 1961-2050 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B der Station Dresden-Klotzsche .....	13
Abbildung 11a: Bildschirmansicht des Modells PHÄNO zur Untersuchung der Verschiebung von phänologischen Jahreszeiten.....	14
Abbildung 11b: Änderung phänologischer Eintrittstermine beim Vergleich der Periode 2021-2050 mit 1961-1990 für Klimaprojektionen von vier regionalen Klimamodellen (Dresden, Sz. A1B; Mittelwerte mit Standardabweichung) .....	14
Abbildung 12: Bildschirmansicht des Modells ONTO zur Untersuchung der Verschiebung von Entwicklungsphasen landwirtschaftlicher Fruchtarten. Die regionale Anpassung erfolgte durch Mirschel (Institut für Landschaftssystemanalyse, ZALF, Projekt LandCaRe2020).....	15
Abbildung 13: Vergleich der Dauer von Entwicklungsphasen am Beispiel Winterweizen und Silomais in den Perioden 1961-1991 (1975) und 2021-2050 (2035) für verschiedenen Klimaprojektionen, Station Dresden. Die Zahlen sind Mittelwerte von Realisierungen des Szenarios A1B (Ergebnisse einzelner Realisierungen im Anhang). .....	16
Abbildung 14: Landwirtschaftliche Fokusgebiete (blau) in den Agrarstrukturgebieten der REGKLAM-Region: Mittelsächsisches Lößgebiet (braun), Sächsisches Heidegebiet (gelb), Oberlausitz/Sächsische Schweiz (hellbraun), Erzgebirgsvorland (hellgrün), Erzgebirgskamm (dunkelgrün), sowie Ausschnitt der Bildschirmansicht im LandCaRe-DSS mit gespeicherten Flächen der Fokusgebiete in der Modellregion (Quelle: LfULG, ergänzt).....	17
Abbildung 15: Bildschirmansichten der 5 Fokusgebiete in den verschiedenen Anbauregionen. Oben ist die Satellitenansicht der Karten von Google Earth™ dargestellt; unten die Kartierung der Ackerzahl (Az) nach der Bodenkarte MMK.....	18
Abbildung 16: Bildschirmansicht der Fokusregion im Lößgebiet für das statistische Ertragsmodell YIELDSTAT zur Auswahl der Eingangsszenarien (links) und nach erfolgter Simulation mit Ergebniskarte und statistischen Informationen zur räumlichen und zeitlichen Varianz (Boxplots) ..	19
Abbildung 17: Relative Ertragsänderungen der Klimanormalperioden 2035 (2021-2050) zu 2005 (1991-2020) für Winterweizen und Silomais (oben) und eine regionale Anbauverteilung verschiedener Fruchtarten (unten, siehe Text) in den Fokusgebieten der Modellregion .....	20
Abbildung 18: Relative Ertragsänderungen beim Vergleich der Klimanormalperioden 2035 (2021-2050) zu 2005 (1991-2020) für eine regionale Anbauverteilung verschiedener Fruchtarten (siehe Text) in den Fokusgebieten der Modellregion .....	20
Abbildung 19: Relative Ertragsänderungen für Grünland im Gebiet Erzgebirgskamm beim Vergleich der Klimanormalperioden 2005 (1991-2020) zu 1975 (1961-1990) und 2035 (2021-2050) zu 1975 (1961-1990) .....	21

Abbildung 20: Änderung des absoluten Zusatzwasserbedarfes beim Vergleich der Klimanormalperioden 1975 (1961-1990), 2005 (1991-2020), 2035 (2021-2050) und 2085 (2071-2100) am Beispiel Silomais im Lößgebiet und Heidegebiet. Es wurden verschiedene Gitterpunkte, Klimaprojektionen und -stationen sowie regionalisierte Klimadaten verwendet (CLM20-9: räumlich gleitende Mittelung von 9 Gitterpunkten).	22
Abbildung 21: Relativer Anstieg des Zusatzwasserbedarfes für Silomais im Lößgebiet (links) und Heidegebiet (rechts) für verschiedene Klimaprojektionen beim Vergleich der Perioden 1991-2020 (KNP 2005) und 2021-2050 (KNP 2035) im Verhältnis zu 1961-1990 (KNP 1975).	22
Abbildung 22: Bildschirmansicht mit Auswahl einzelner Ackerschläge (links mit Angabe der Ackerzahl) und Modellansicht (rechts, Beispiel Zusatzwasserbedarf, ZUWABE). Es lässt sich der Gesamtausschnitt oder eine Teilfläche bis zur kleinsten Gittergröße (1 ha) berechnen.	23
Abbildung 23: Bildschirmansicht nach erfolgter Simulation mit dem Ertragsmodell YIELDSTAT. Aufgrund zweier Bodentypen im Schlag ergeben sich zwei unterschiedliche Ertragswerte für die räumliche Varianz, die zeitliche Varianz bezieht sich auf Ertragsschwankungen innerhalb des 30jährigen Zeitraums.	24
Abbildung 24: Relative Ertragsänderungen von Winterweizen (WW) und Silomais (SM) für zwei Standorte mit unterschiedlicher Bodengüte (L81: Lommatzsch im Lößgebiet, Ackerzahl 81; R38: Radeburg im Heidegebiet, Ackerzahl 38) bei verschiedenen Eingangsszenarios (380=ohne CO <sub>2</sub> -Düngeeffekt, oB = ohne Beregnung, b = vTI-baseline; o = optimistisch, p = pessimistisch, Trd = mit Fortschrittstrend, mb = mit Beregnung, Tro= mit Trockenjahren).	25
Abbildung 25: Relative Änderungen des Ertrages (oben) und des Deckungsbeitrages (unten) von Wintergerste (WG) und Sommergerste (SG) für die Standorte Lommatzsch (L81) und Radeburg (R38) bei verschiedenen Eingangsszenarios (380=ohne CO <sub>2</sub> -Düngeeffekt, oB = ohne Beregnung, b = vTI-baseline; o = optimistisch, p = pessimistisch, Trd = mit Fortschrittstrend, mb = mit Beregnung, Tro= mit Trockenjahren).	26

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Modelle, Themen und räumliche Skalen des DSS	7
Tabelle 2: Änderung von Eintrittsterminen (in Tagen) der Jahreszeiten indiziert durch (1) Blüte des Schneeglöckchens, (2) Blattentfaltung der Stachelbeere, (3) Apfelblüte, (4) Blüte des Schwarzen Holunders, (5) Blüte der Sommerlinde, (6) Fruchtreife des Frühapfels, (7) Fruchtreife des Schwarzen Holunders, (8) Fruchtreife der Stieleiche, (9) Blattverfärbung der Stieleiche beim Vergleich 30-jähriger Mittelwerte der Periode 2021-2050 mit 1961-1990 für Klimaprojektionen von vier regionalen Klimamodellen.	14
Tabelle 3: Änderung der Dauer von Entwicklungsphasen des Winterweizens beim Vergleich 30-jähriger Mittelwerte der Periode 2021-2050 mit 1961-1990 für Klimaprojektionen von vier regionalen Klimamodellen (Dresden, Szenario A1B). Negative Werte bedeuten Verkürzungen in Tagen.	15

# 1. Einleitung

Das Entscheidungshilfesystem LandCaRe-DSS (Land, Climate and Resources Decision Support System) ist eine modellbasierte Wissensplattform, die im Rahmen von klimazwei (klimazwei.de) vom Forschungsverbund LandCaRe2020 entwickelt wurde (Köstner et al. 2009, 2012, 2013; Wenkel et al. 2011a, b). Sie soll die Analyse von regionalen Auswirkungen des Klimawandels und die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen in ländlichen Räumen, insbesondere in der Landwirtschaft, unterstützen. Das System wurde beispielhaft für die naturräumlich sehr unterschiedlichen Regionen „Uckermark“ in Brandenburg und „Weißeritzkreis“ in Sachsen umgesetzt, ist jedoch deutschlandweit übertragbar. Neben einer Reihe weiterer Praxispartner haben sich das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)“, vor allem die Referate „Pflanzenbau und Nachwachsende Rohstoffe“ und „Klimaschutz und Klimawandel“ seit Beginn des Projektes an der Entwicklung des DSS beteiligt. Derzeit liegt eine Desktopversion des Prototypen für Expertenanalysen sowie einer Webversion (landcare-dss.de) vor. Für die Nutzung in anderen Regionen sind Anpassungen des DSS, zum Beispiel hinsichtlich räumlicher Daten und Modellparameter, erforderlich. An der Fortführung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten am DSS beteiligen sich neben der Professur für Meteorologie vor allem das Institut für Landschaftssystemanalyse des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung (ZALF e.V.) in Müncheberg und das Softwareunternehmen LivingLogic AG Bayreuth.

Anpassung der Landwirtschaft an den Klimawandel setzt Kenntnisse über mögliche Wirkungen des Klimas voraus. Dieses Wissen kann auf unterschiedliche Weise gewonnen werden:

A) Anwendung von lokalem Erfahrungswissen und Fachwissen für die qualitative Extrapolation von beobachteten Trends in die Zukunft

B) Quantifizierung von zukünftigen Wirkungen durch modellbasierte Extrapolation von Prozessen

Herangehensweisen vom Typ A zeichnen sich vor allem durch Realitätsnähe und Vertrauenswürdigkeit aus, haben aber den Nachteil, dass bisher nicht aufgetretene Randbedingungen und Prozesse unberücksichtigt bleiben und Aussagen auf die nahe Zukunft beschränkt sind. Herangehensweisen vom Typ B ermöglichen eine umfassende Quantifizierung von einzelnen Prozessen unter verschiedenen denkbaren Randbedingungen, auch weit in die Zukunft hinein. Die Modelle können jedoch nur bereits bekannte Prozesse simulieren und geben in der Regel eher mittlere als extreme Wirkungen wieder. Idealerweise sollte die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel auf einer Kombination von beiden Herangehensweisen beruhen. Das LandCaRe-DSS unterstützt Herangehensweisen vom Typ B. Im Forschungsverbund REGKLAM (TP 3.3.1) wurde das Wissen vom Typ A durch fachbezogene Produkte des LfULG und Workshops mit Praxisbetrieben erarbeitet.

# 2. Aufgaben und Ziele

Im Forschungsverbund REGKLAM sollte die räumliche Erweiterung des LandCaRe-DSS auf die Modellregion Dresden und eine Erweiterung der Klimadatenbank um die in REGKLAM genutzten Projektionen erfolgen. Desweiteren waren Ergänzungen von Indikatoren im Bereich des Wein- und Obstbaus vorgesehen. In der ersten Phase des Projektes wurde gemeinsam mit den Projektpartnern im Referat „Pflanzenbau und Nachwachsende Rohstoffe“ am LfULG entschieden, sich bei den Analysen auf Gebiete um ausgewählte landwirtschaftliche Modellbetriebe des Projektes zu konzentrieren.

Allgemeines Ziel war die Bereitstellung des auf die Modellregion Dresden angepassten Entscheidungshilfesystems LandCaRe-DSS. Dafür waren folgende Anpassungsschritte erforderlich:

- Klimadatenbank: Einbindung neuer Stationen und Gitterpunkte der bisherigen Projektionen WETTREG2006 und CCLM sowie komplett neue Einbindung von in REGKLAM genutzten Klimaprojektionen

- Geo-Datenbank: Einbindung von neuen geo-referenzierten Daten zu Topographie, Landnutzung und Bodeneigenschaften (u.a. neue Bodenkarte BK50 für Sachsen)
- Anpassung und Ergänzung von Auswertungs- und Bedienungsfunktionen
- Umfassende Tests des erweiterten LandCaRe-DSS durch Anwendung auf die Modellregion Dresden, insbesondere auf die Fokusgebiete um landwirtschaftliche Modellbetriebe unter Berücksichtigung typischer Betriebsstrukturen

## 3. Methoden und Modelle

### 3.1 Struktur des LandCaRe-DSS

#### 3.1.1 Komponenten und Integrationsebenen

Das LandCaRe-DSS beinhaltet drei Wissensbereiche: (1) Regionales Klima (2) Landwirtschaftliche Erträge und Betriebsökonomie und (3) Ökosystemleistungen. Diese Bereiche werden auf drei Ebenen des DSS, zwei räumlichen (lokal, regional), verknüpft mit einer zeitlichen Ebene (Vergangenheit/Kontrollläufe, Szenarien) angesprochen (Abbildung 1). Entsprechend können Modelle und Daten den Modulen „Klima“, „Ökologie“ und „Sozioökonomie“ zugeordnet werden. Der landwirtschaftliche Ertrag bildet die Schnittstelle zwischen Pflanzenproduktion und Betriebsökonomie. Im DSS werden statistische Analysen von Klimadaten, klimabezogenen Indizes (u.a. Phänologie) und Simulationen mit komplexen Modellen unterschieden. Die Klimaprojektionen beinhalten derzeit die Emissionsszenarien A1B und B1 für verschiedene Klimaprojektionen statistisch-dynamischer und dynamischer Regionaler Klimamodelle. Neben den Klimaprojektionen stehen Szenarien der landwirtschaftlichen Anbauverteilung zur Verfügung, die auf drei Marktszenarien („business as usual“, optimistisch, pessimistisch) beruhen. Die Marktszenarien liegen auch der Berechnung betriebsökonomischer Kennzahlen in Form von Preis- und Kostenszenarien zugrunde. Ökologische Modelle und Indikatoren behandeln die zeitliche Dynamik der Pflanzenentwicklung, klimabezogene Kennwerte, Wasser-, Kohlenstoff-, Stickstoffflüsse und Ernteerträge. Über das einzelbetriebliche Ökonomiemodul können Bewirtschaftungsvorgaben zu Fruchtfolgen, Düngung, Bewässerung und Bodenbearbeitung getroffen werden. Diese liefern den landwirtschaftlichen Produktionsmodellen Grundlagen für die Ertragsberechnung und ökologischen Kennzahlen. Im Gegenzug bildete der simulierte Ernteertrag die Grundlage für die betriebsökonomischen Berechnungen.

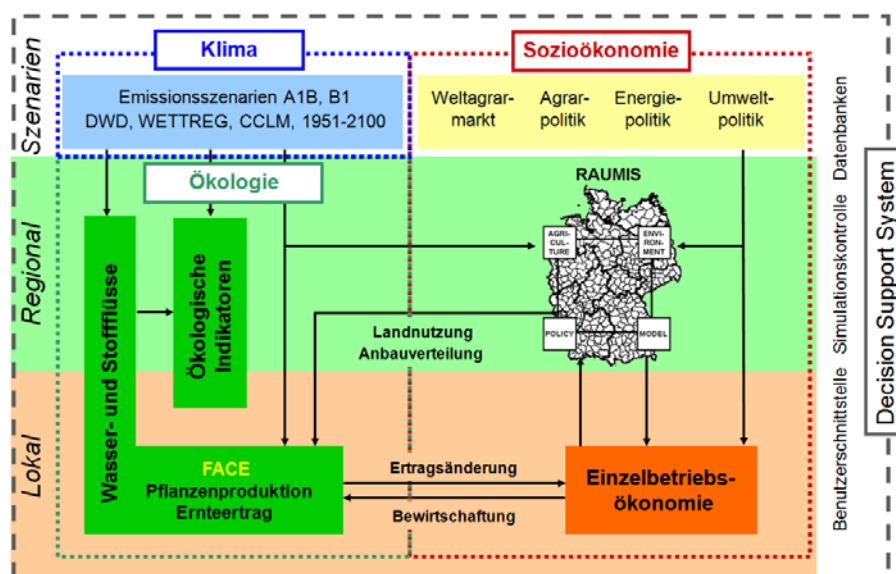


Abbildung 1: Module und Integrationsebenen des LandCaRe-DSS



### 3.1.2 Modelle zur Analyse von Klima und Klimawirkungen

Neben Modellen zur Klimastatistik sind im Bereich der Klimaanalyse auch einfache Modelle zur zeitlichen Entwicklung von Pflanzen (Phänologie, Ontogenese) im Jahresablauf und zur Indikation von Jahreszeiten enthalten (Tabelle 1). Ökosystemleistungen sind in Form von Simulationen der Pflanzenproduktion, Verdunstung, Versickerung, N-Auswaschung, Humusbilanz und der Bodenerosion enthalten (Wenkel et al. 2011b). Ernteerträge und der Bewässerungsbedarf von Fruchtarten werden regional auf der Basis von Anbauverteilungen und lokal in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsangaben berechnet. Zur Erleichterung der räumlichen Orientierung, Anwendung von Zoom-Funktionen und der Markierung bzw. Aktivierung von Punkten oder Flächen ist die Benutzeroberfläche auf Karten von Google Earth<sup>TM</sup> aufgebaut. Für die Erweiterungen auf andere Gebiete müssen regionsspezifische Parametrisierungen vorhanden sein oder erstellt werden. Ferner sind Daten zur Validierung der Modellergebnisse für das vergangene Klima (Kontrollläufe) notwendig. Für die Simulation von Ernteerträgen wurde das statistisch-basierte Ertragsmodell YIELDSTAT herangezogen (Mirschel et al. 2009). Es wurde in einer vorangegangenen Studie anhand von Ertragsdaten aus Sachsen über den Zeitraum 1956-2007 validiert (LfULG 2009).

Tabelle 1: Modelle, Themen und räumliche Skalen des DSS

Modell	Thema	Räumliche Skala
BAGLUVA	Grundwasserabfluss	regional
BERBEDÜ	Beregnungsbedürftigkeit	regional und lokal
EÖM-MONICA	Einzelbetriebliches Ökonomiemodul, Erträge, Wasser-, N-, C-Flüsse	lokal
EÖM-YIELDSTAT	Einzelbetriebliches Ökonomiemodul, Erträge	lokal
EROSION	Bodenabtragsrisiko	regional und lokal
FREQUENZ	Häufigkeitsanalyse von Klimaelementen, Ereignistagen und Indizes	Klimastation
GL-PROD	Grünlandproduktion	regional und lokal
ONTO	Eintritt und Dauer von Entwicklungsstadien landw. Fruchtarten	Klimastation
PHÄNO	Phänologische Termine von Gehölzen und krautigen Pflanzenarten	Klimastation
RAUMIS	Karten für landw. Erträge, Beregnungsbedürftigkeit und –würdigkeit in Deutschland	national
SAISON	Jahresverlauf bzw. Monatsmittel für Klimaelemente, Ereignistage und Indizes	Klimastation
SVAT-CN	Karten für Photosynthese und Transpiration von Wald und Grasland	regional
TREND	Trendanalyse von Klimaelementen, Ereignistagen und Indizes	Klimastation
YIELDSTAT	Statistisch-basierte Erträge von 15 landwirtschaftlichen Fruchtarten	regional und lokal
ZUWABE	Standortbezogener Zusatzwasserbedarf für Fruchtarten und Fruchtfolgen	regional und lokal

Die Simulationen werden in der Regel mit einer zeitlichen Auflösung von 1 Tag und eine Mindestzeitspanne von 30 Jahren durchgeführt, die in 5-Jahresschritten gewählt werden kann. Die höchste räumliche Auflösung beträgt 1 Hektar.

### 3.1.3 Nutzungsversionen des DSS

Das LandCaRe-DSS kann derzeit in drei Varianten genutzt werden: (1) Eine allgemein zugängliche Webversion ermöglicht, das DSS anhand von zwei Beispielregionen kennen zu lernen und stellt deutschlandweit Analysemöglichkeiten zu Klimaprojektionen und Klimaindizes zur Verfügung. (2) Die Webversion stellt über einen geschützten Zugang (LOGIN) bestimmten Nutzergruppen neu hinzugekommene Regionen zur Verfügung und bietet die Möglichkeit, Informationen auszutauschen und Ergebnisse zu speichern. (3) Der ursprüngliche DSS-Prototyp (Berg et al. 2009) wird als Desktopversion (Expertenversion) weiterentwickelt. Diese lokal installierbare Version wird für Forschung und Entwicklung eingesetzt, ist vom System am zentralen DSS-Server (LivingLogic AG, Bayreuth) unabhängig und nutzt nur die Server von Klimadatenbank (Meteorologie, TU Dresden) und Google Earth<sup>TM</sup> Map Service (Abbildung 2).

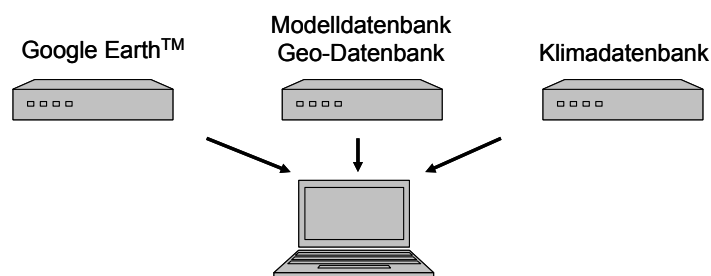


Abbildung 2: Nutzung verschiedener Datenbanken und Server für das LandCaRe-DSS

## 3.2 Erweiterung auf die Modellregion Dresden

### 3.2.1 Ergänzung der Klimadatenbank

Die Klimadatenbank des LandCaRe-DSS besteht aus Beobachtungsdaten von Klimastationen und simulierten Daten von Klimaprojektionen. Die Beobachtungsdaten stammen überwiegend vom Deutschen Wetterdienst. Aus Konsistenzgründen werden Simulationen zukünftiger Perioden jedoch nicht mit Beobachtungsdaten, sondern mit Kontrollläufen der regionalen Klimamodelle verglichen. Zunächst wurden die bereits vorhandenen Klimaprojektionen des statistisch-dynamischen Regionalmodells WETTREG2006 (Kreienkamp et al. 2010) und des dynamischen Klimamodells CLM (Cosmo-CLM, CCLM; Rockel et al. 2008) um den Zeitraum 2051-2100 verlängert. Zum Abgleich mit der REGKLAM-Klimadatenbank (TP 2.1) kamen die Projektionen REMO-1 (1. Lauf; Jacob und Podzun 1997) und WEREX-IV, später WETTREG2010 (10 Realisierungen) hinzu (vgl. Bernhofer et al. 2011). Die Klimaprojektionen der dynamischen Modell werden im 18- bzw. 10-km-Gitter zur Verfügung gestellt, die der statistisch-dynamischen Modelle sind stationsbezogenen. Für die Projektionen von CLM20 werden niederschlagskorrigierte Versionen (Lindau und Simmer 2009) und eine räumlich-gleitende Mittelung von jeweils 9 Gitterpunkten verwendet (CLM20-9), für REMO eine räumliche Driftkorrektur des Niederschlags. Zur Vergleichbarkeit des Niederschlags aus statistisch-dynamischen und dynamischen Klimamodellen werden erstere nach RICHTER korrigiert (Bernhofer et al. 2011). Die Simulationen auf Basis stationsbezogener Klimaprojektionen können auch mit regionalisierten Daten im 1-km-Gitter erfolgen (Franke et al. 2008). Obwohl die Projektionen teils auch für das Emissionsszenario B1 vorhanden sind, wurde bei den Analysen der Schwerpunkt auf das Szenario A1B gelegt.

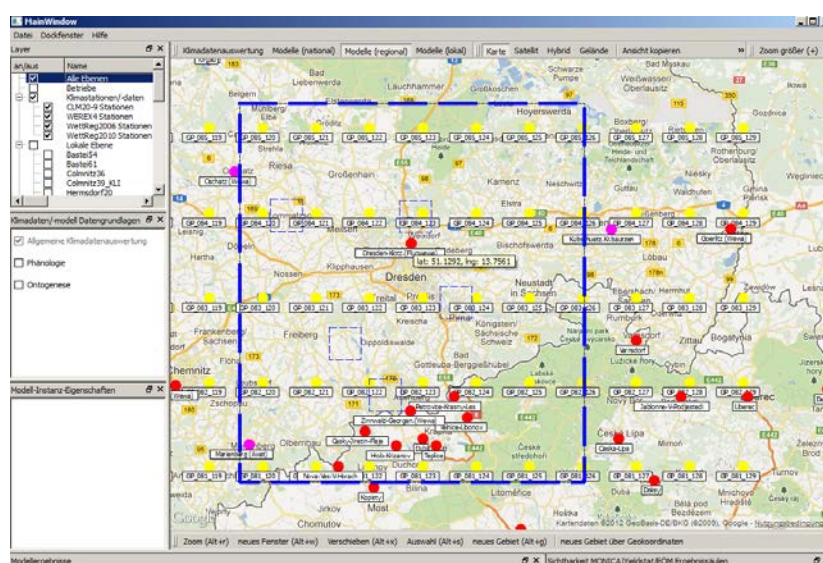


Abbildung 3: Benutzeroberfläche des LandCaRe-DSS (Desktopversion) mit Auswahl der Klimaprojektionen WEREX-IV, WETTREG2006, WETTREG2010 und CCLM in der Modellregion Dresden (blauer Rahmen)



### 3.2.2 Räumliche Erweiterung

Die gitterbasierten Daten der Landoberfläche beziehen sich auf Topographie, Boden und Landnutzungstypen. Die höchste räumliche Auflösung von simulierten Ergebnissen beträgt 100x100 m<sup>2</sup> und richtet sich vor allem nach den von den Agrarmodellen benötigten Bodenkarten. Das Ertragsmodell YIELDSTAT benötigt die Karten der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (MMK; Schmidt und Diemann 1991). Diese wurde auf die neue Modellregion erweitert. Nach Fertigstellung der neuen, blattschnittfreien Bodenkarte für Sachsen (BK50, LfULG, Abt. 4) im Jahr 2012 wurde auch diese in das DSS integriert. Die neue Karte mit Bodenprofilen wird vor allem vom Agrarökosystemmodell MONICA (Nendel et al. 2011) verwendet. Die Anpassung der Bodenkarten für die Agrarmodelle war ein wesentlicher Bestandteil der Erweiterung auf das neue Modellgebiet.

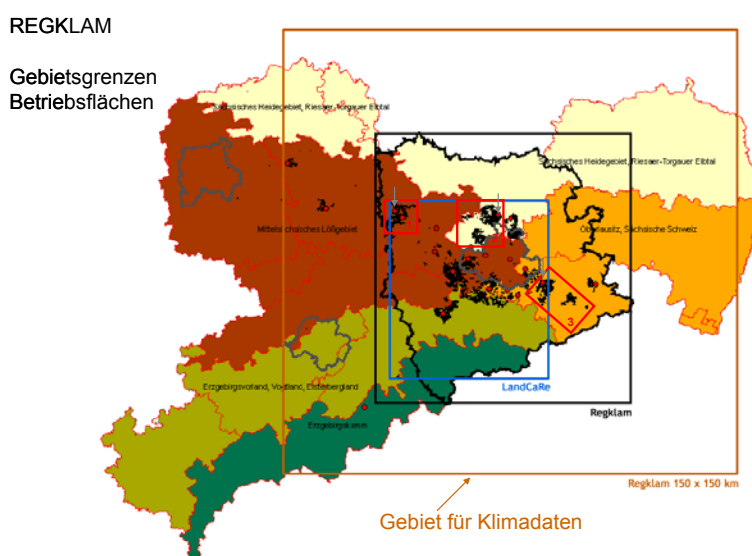


Abbildung 4: Gebietsgrenzen des alten Projekts LandCaRe2020 (blau) und neu für REGKLAM (schwarz) mit Betriebsflächen von Modellbetrieben (rot: 1:Lommatsch/Lößgebiet, 2: Radeburg/Heidegebiet, 3: Bastei/Sächsische Schweiz); Quelle: LfULG, ergänzt

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Klimaanalyse an Stationen und Gitterpunkten

Zunächst wurden die für das Gebiet vorliegenden Klimaprojektionen hinsichtlich ihrer Klimaentwicklung und ihrer Unterschiede ausgewertet. Dies erfolgte überwiegend anhand der Station *Dresden-Klotzsche* für die statistisch-dynamischen Modelle WETTREG2006, WETTREG2010 und WEREX\_IV und der nächst gelegenen Gitterpunkte für die dynamischen Modellen CLM (CCLM bzw. Cosmo-CLM) und REMO. Bei CLM wurde ein gleitender räumlicher Mittelwert des Gitterpunktes mit seinen 8 umgebenden Gitterpunkten (CLM20-9) genutzt. In der Regel werden die Ergebnisse aus verschiedenen Realisierungen eines Klimamodells vom DSS als gemittelte Werte ausgegeben; zu Unterschieden zwischen einzelnen Realisierungen siehe im Anhang und LandCaRe-Faktenblatt (Köstner 2012). Von REMO wird der 1. Lauf genutzt (REMO-1). Außer Trendanalysen über den Zeitraum 1961-2100 werden auch 30jährige Klimanormalperioden (KNP) miteinander verglichen, für die landwirtschaftlichen Untersuchungen vor allem 1991-2020 (KNP 2005) und 2021-2050 (KNP 2035), zusätzliche Referenzperioden sind 1961-1990 (KNP 1975) und 2071-2100 (KNP 2085). Alle Analysen für Vergangenheit (Kontrollläufe) und Zukunft wurden mit simulierten Daten durchge-

führt. Die Klimaprojektionen sind ausführlich in Bernhofer et al. (2011), aktuelle Trends von Beobachtungsdaten in Bernhofer et al. (2009) beschrieben.

#### 4.1.1 Trend von Temperatur und Niederschlag

Die Jahresmitteltemperaturen zeigen in allen Projektionen einen ansteigenden Verlauf, wobei die Projektion REMO-1 die höchsten Werte erreicht, gefolgt von den Projektionen WETTREG2010, WEREX-IV, WETTREG2006 und CLM20. Die Projektion CLM20 weist bereits bei den Kontrollläufen in der Vergangenheit im Vergleich zu Beobachtungsdaten eine Tendenz zur Unterschätzung der Temperaturen auf (Abbildung 5). Die Projektion WETTREG2010 wurde erst im Laufe des REGKLAM-Projektes verfügbar. Da sich Temperatur- und Niederschlagstrend (Abbildung 6) deutlich von den in REGKLAM genutzten Projektionen abheben, wurde diese Projektion in die Analysen einbezogen.

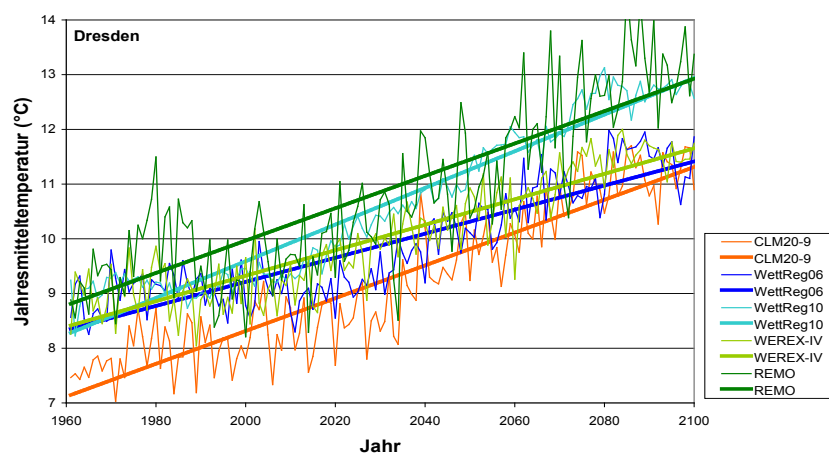


Abbildung 5: Trend mit linearer Regression der Jahresmitteltemperatur im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B an der Station Dresden-Klotzsche (WETTREG, WEREX) bzw. den nächstgelegenen Gitterpunkten (CLM, REMO)

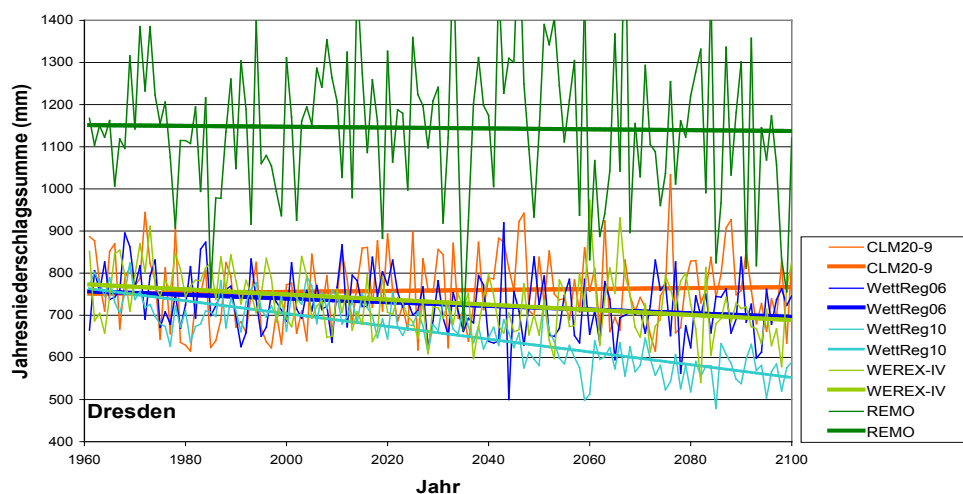


Abbildung 6: Trendverhalten mit linearer Regression des Verlaufs der Jahresniederschläge im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B der Station Dresden-Klotzsche (WETTREG, WEREX) bzw. den nächstgelegenen Gitterpunkten (CLM, REMO)

Für die Projektionen von CLM werden niederschlagskorrigierte Versionen (Lindau und Simmer 2012) und für REMO eine räumliche Driftkorrektur des Niederschlags verwendet (Bernhofer et al. 2011). Die Driftkorrektur reicht jedoch offensichtlich nicht aus, das Niveau der anderen Projektionen bzw. Beobachtungsdaten zu erreichen. Da für die landwirtschaftlichen Impaktmodelle (Wirkungsmodelle) die Höhe und Verteilung des Niederschlages wesentlich ist, mussten Analysen mit REMO auf nur temperaturgesteuerte Modelle beschränkt werden.

#### 4.1.2 Trend von Klimaindizes

Das Modell TREND des LandCaRe-DSS erlaubt auch Trendanalysen einer Reihe von klimatischen bzw. klimaökologischen Indizes. Dazu gehört zum Beispiel die Klimatische Wasserbilanz (KWB), die Länge der Thermischen Vegetationsperiode und der Heliothermalindex nach Huglin (Schultz 2000).

Die Klimatische Wasserbilanz, in die sowohl Temperatur und Strahlung als auch die Niederschläge eingehen ( $KWB = \text{Niederschlag} - \text{potenzielle Verdunstung}$ ), zeigt für WETTREG2010 den deutlichsten negativen Trend. Dagegen prägt sich bei der Projektion des dynamischen Klimamodells CLM nur ein geringer negativer Trend in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts aus. Es ist bei der Bewertung der KWB jedoch zu beachten, dass die reale Verdunstung deutlich unter der potenziellen Verdunstung liegen kann. Sonst hätte man in trockenen Gebieten, in denen bereits heute die KWB negativ ist, weitaus größere Probleme. Eine Einschränkung der realen Verdunstung der Vegetation unter Trockenheit ist jedoch mit Produktionseinbußen verbunden.

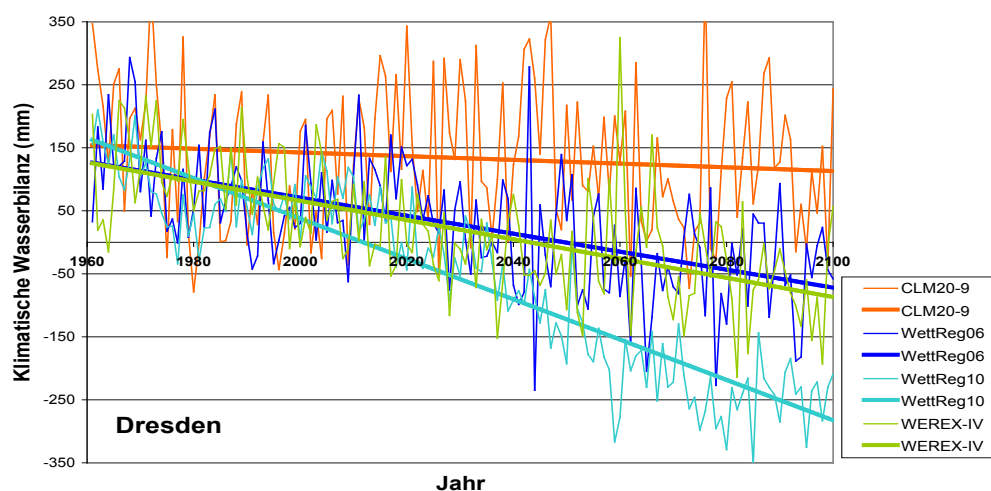


Abbildung 7: Trend mit linearer Regression des Verlaufs der Klimatischen Wasserbilanz im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B an der Station Dresden-Klotzsche (WETTREG, WEREX) bzw. den nächstgelegenen Gitterpunkten (CLM, REMO) unter dem Emissionsszenario A1B

Mit dem Temperaturanstieg nimmt auch die Länge der Thermischen Vegetationsperiode zu. Dies ist vor allem auf einen frühzeitigeren Beginn der Vegetationszeit zurückzuführen. Bei Übertragung auf reale Verhältnisse ist jedoch zu beachten, dass die pflanzlichen Entwicklungsvorgänge im Frühjahr auch von der Photoperiode abhängen. Im Sommer könnte die aktive Wachstumsperiode zum Beispiel durch anhaltende Bodentrockenheit eingeschränkt sein. Wie aus Abbildung 8 hervorgeht, ergibt die Projektion WETTREG2010 in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts die deutlichste Verlängerung der Vegetationsperiode um über 100 Tage im Betrachtungszeitraum. Bei einem räumlichen Vergleich erreicht die Station Dresden maximale, das Erzgebirge (Marienberg) minimale Vegetationslängen (Abbildung 9).

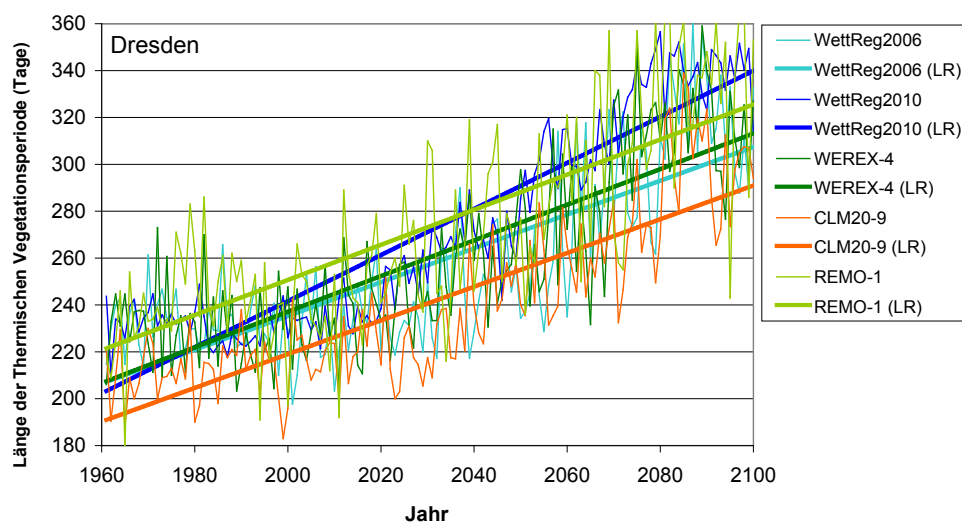


Abbildung 8: Trend mit linearer Regression (LR) des Verlaufs der Thermischen Vegetationsperiode im Zeitraum 1961-2100 von verschiedenen Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B für Dresden

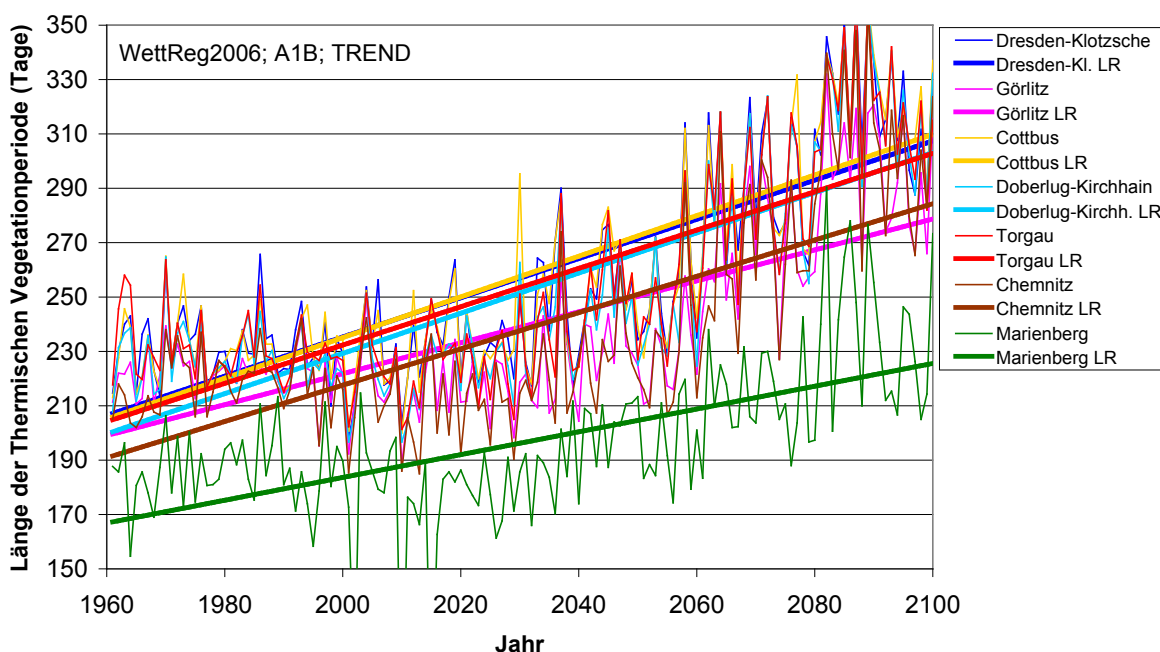


Abbildung 9: Trendverhalten mit linearer Regression (LR) des Verlaufs der Thermischen Vegetationsperiode im Zeitraum 1961-2100 der Klimaprojektion WETTREG2006, A1B, an verschiedenen Stationen in und um die Modellregion Dresden

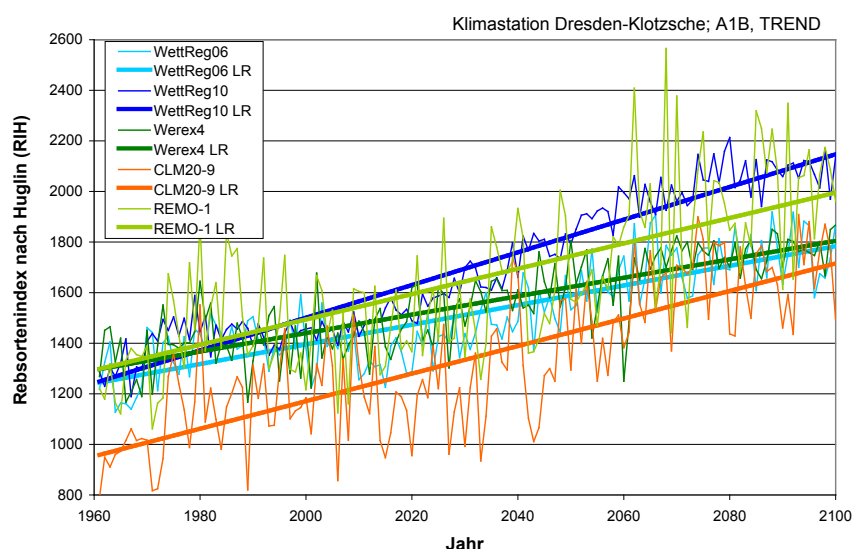


Abbildung 10: Trend mit linearer Regression des Heliothermalindex nach Huglin (RIH) im Zeitraum 1961-2100 für verschiedene Klimaprojektionen des Emissionsszenarios A1B der Station Dresden-Klotzsche

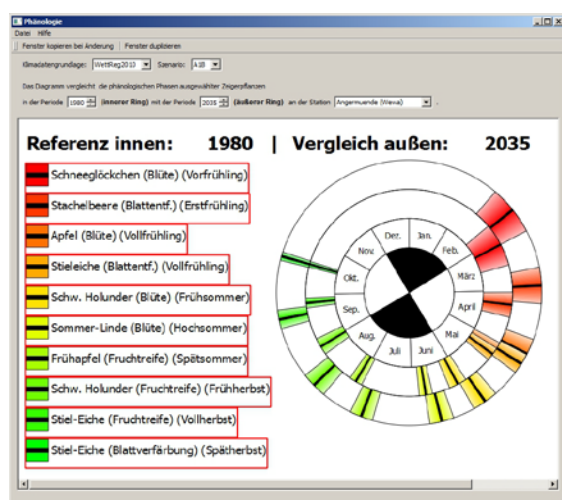
Für den Heliothermalindex nach Huglin, der die klimatische Eignung von Rebsorten indiziert, ergibt sich ebenfalls ein Anstieg, der unter WETTREG2010 bereits bis 2050 zwei Klassen über den gegenwärtigen Werten liegen könnte (Abbildung 10). Für den Zeitraum 1991-2008 ergab sich im Mittel ein Wert von 1450 für Dresden (Lorenz und Bröhl, Bericht 3.3.1d), der bei linearer Fortschreibung im Jahr 2050 den Wert 1900 erreichen würde. Diesem Trend kommt die Projektion WETTREG2010 am nächsten. Lokal in den Hanglagen können die Werte deutlich höher liegen. Von der Projektion CLM werden die Beobachtungswerte unterschätzt. Hier sollten nur Differenzen zwischen Klimaperioden untersucht werden (vgl. Neumann und Matzarakis 2011).

Für den Bereich des Obstbaus wurde der Klimaindex nach Schwärzel (2000) zur Beschreibung der kombinierten Wirkung von Winterkälte und Niederschlag auf die Obstbaumvitalität eingeführt. Das Trendverhalten ergab zukünftig keine Unterschreitung kritischer Werte an der Station Dresden.

#### 4.1.3 Phänologische Jahreszeiten

Für die Landnutzung sind Verschiebungen der Jahreszeiten und phänologischen Phasen von Fruchtarten von großer Bedeutung. Dies wird im LandCaRe-DSS durch das Modell PHÄNO untersucht (Abbildung 10). Es zeigte sich, dass Verfrühungen vor allem für das Frühjahr, aber auch für den Frühherbst gelten (Tabelle 2). Hinsichtlich der Wirkungsrichtung verschiedener Klimaprojektionen auf die Eintrittstermine ergeben sich keine prinzipiellen Unterschiede zwischen den Methoden der Klimaprojektionen. Stärkste Verschiebungen sind bei der Projektion WETTREG2010 zu verzeichnen, gefolgt von CLM, REMO und WETTREG2006 (Abbildung 11). Die Abweichung zwischen einzelnen Jahren liegt in der Größenordnung der Änderung über 30 Jahre. Insgesamt ergeben sich für die Länge der *phänologischen Vegetationsperiode* (hier berechnet aus der Differenz der Eintrittstermine von Blattentfaltung und Blattverfärbung von Stieleiche) nur geringe Änderungen von -1 bis +3 Tagen (2021-2050 minus 1961-1990) beim Vergleich der verschiedenen Klimamodelle (Station Dresden). Dagegen betragen unter den gleichen Bedingungen die Verlängerungen der *Thermischen Vegetationsperiode* zwischen +12 und +33 Tagen, also etwas das 10-fache. Für die Planung von auf die Vegetation bezogenen Anpassungen sollten daher nicht nur Temperaturwerte und -indizes, sondern auch Modelle herangezogen werden, die auf phänologischen Beobachtungsdaten basieren (u.a. Chmielewski und Blümel 2012).





Modell PHÄNO zur Untersuchung der Verschiebung von Jahreszeiten beim Vergleich zweier 30jähriger Klimanormalperioden. Die Darstellung erfolgt in Form einer Phänologischen Uhr. Es werden Mittelwerte und Standardabweichung angezeigt. Die regionale Anpassung der Phänologiemodelle erfolgte durch Henniges und Chmielewski (HU Berlin, Projekt LandCaRe2020).

Abbildung 11a: Bildschirmansicht des Modells PHÄNO zur Untersuchung der Verschiebung von phänologischen Jahreszeiten

Tabelle 2: Änderung von Eintrittsterminen (in Tagen) der Jahreszeiten indiziert durch (1) Blüte des Schneeglöckchens, (2) Blattentfaltung der Stachelbeere, (3) Apfelblüte, (4) Blüte des Schwarzen Holunders, (5) Blüte der Sommerlinde, (6) Fruchtreife des Frühhapfels, (7) Fruchtreife des Schwarzen Holunders, (8) Fruchtreife der Stieleiche, (9) Blattverfärbung der Stieleiche beim Vergleich 30-jähriger Mittelwerte der Periode 2021-2050 mit 1961-1990 für Klimaprojektionen von vier regionalen Klimamodellen.

Änderung des Eintrittstermins	Vorfrühling	Erstfrühling	Vollfrühling	Frühsommer	Hochsommer	Spätsommer	Frühherbst	Vollherbst	Spätherbst
(d)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
<b>Dresden, A1B</b>									
WettReg2006	-3	-1	3	-2	-1	-2	-4	-1	1
WettReg2010	-9	-10	-5	-7	-6	-8	-12	-4	0
CLM20-9	-8	-5	-3	-5	-3	-5	-10	-1	1
REMO-1	-8	-5	1	-3	-1	-2	-7	-1	1

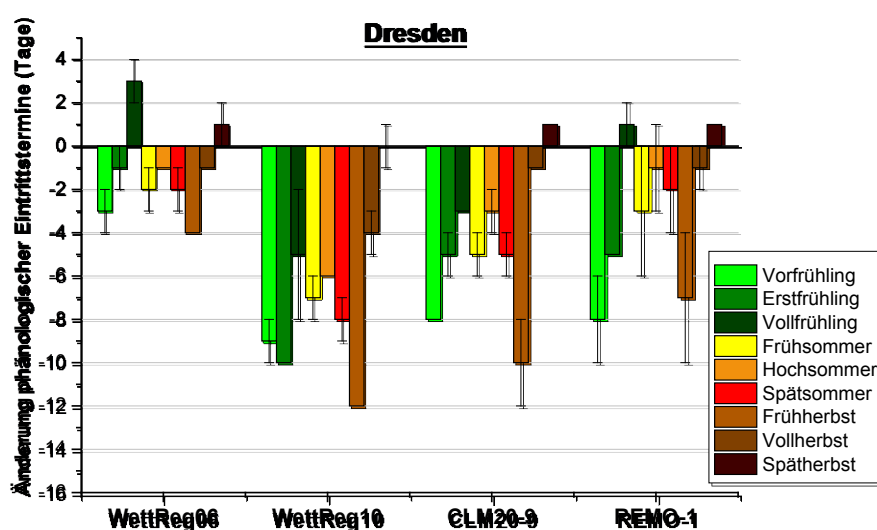


Abbildung 11b: Änderung phänologischer Eintrittstermine beim Vergleich der Periode 2021-2050 mit 1961-1990 für Klimaprojektionen von vier regionalen Klimamodellen (Dresden, Sz. A1B; Mittelwerte mit Standardabweichung)

#### 4.1.4 Entwicklungsstadien landwirtschaftlicher Fruchtarten

Von herausragender Bedeutung für die Landwirtschaft ist die Verschiebung von pflanzlichen Entwicklungsphasen. Dies kann im LandCaRe-DSS mit dem Modell ONTO (Abbildung 12) untersucht werden, das die Ontogenese landwirtschaftlicher Fruchtarten beschreibt (Mirschel et al. 2009). So ist mit einer durchgehenden Verfrühung des Eintritts von Entwicklungsstadien vor allem beim Wintergetreide, wie zum Beispiel Winterweizen zu rechnen (Tabelle 3). Bei Gegenüberstellung von Winterweizen und Silomais lässt sich zeigen, dass sich in der Periode 2021-2050 im Vergleich zu 1961-1990 der gesamte Anbauzyklus verkürzt (Abbildung 13). Für Winterweizen (Aussaat im Oktober) ist dies am deutlichsten bei WETTREG2010 (im Mittel 21 Tage) ausgeprägt, gefolgt von CLM (15 Tage), REMO-1 (13 Tage) und WETTREG2006 (6 Tage). Bei Silomais, einer Sommerfrucht (Aussaat im April), ergibt sich die stärkste Verkürzung bei CLM (im Mittel 16 Tage), gefolgt von WETTREG2010 (12 Tage), REMO-1 (9 Tage) und WETTREG2006 (9 Tage). Die Verkürzung betrifft bei Winterweizen am stärksten die Phase bis Schossbeginn im Frühjahr, bei Silomais die Phasen Blüte und Kornreife im Sommer. Bei den Getreidearten Winterroggen und Wintergerste sind die Verfrühungen der Stadien teils noch etwas stärker ausgeprägt als beim Winterweizen. Insgesamt liegen die Verschiebungen in der gleichen Größenordnung (siehe Tabellen im Anhang). Die starken Verfrühungen beim Winterraps unter den Projektionen WETTREG2006 und WETTREG2010 müssen hinsichtlich der Schwellenwerte im Modell weiter überprüft werden, deuten jedoch auf zukünftige Möglichkeiten eines Zweitfruchtanbaus hin.

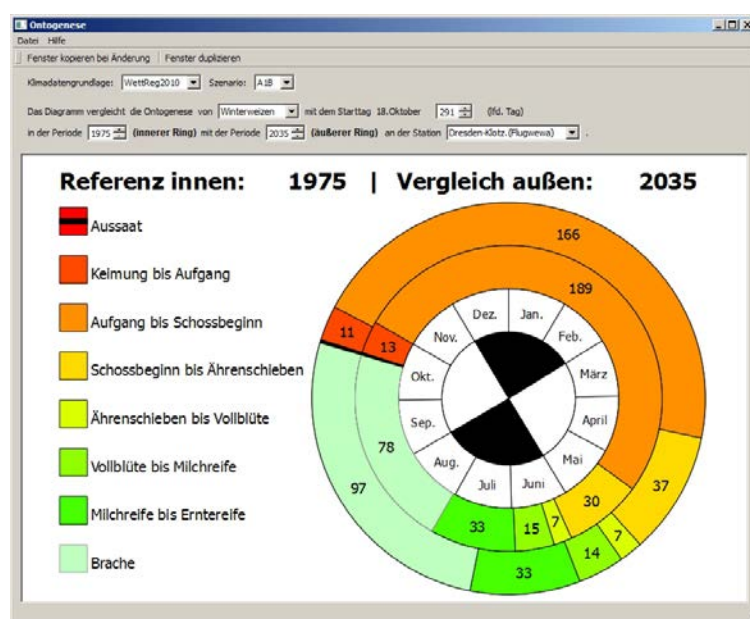


Abbildung 12: Bildschirmansicht des Modells ONTO zur Untersuchung der Verschiebung von Entwicklungsphasen landwirtschaftlicher Fruchtarten. Die regionale Anpassung erfolgte durch Mirschel (Institut für Landschaftssystemanalyse, ZALF, Projekt LandCaRe2020)

Tabelle 3: Änderung der Dauer von Entwicklungsphasen des Winterweizens beim Vergleich 30-jähriger Mittelwerte der Periode 2021-2050 mit 1961-1990 für Klimaprojektionen von vier regionalen Klimamodellen (Dresden, Szenario A1B). Negative Werte bedeuten Verkürzungen in Tagen

Änderung des Eintrittstermins (d)	Aufgang	Schossen	Ährenschieben	Vollblüte	Milchreife	Brache
<b>Dresden, A1B</b>						
WettReg2006	-1	-4	-4	-4	-5	-6
WettReg2010	-3	-28	-20	-20	-20	-21
CLM20-9	-5	-13	-12	-12	-12	-15
REMO-1	-3	-18	-13	-13	-14	-13

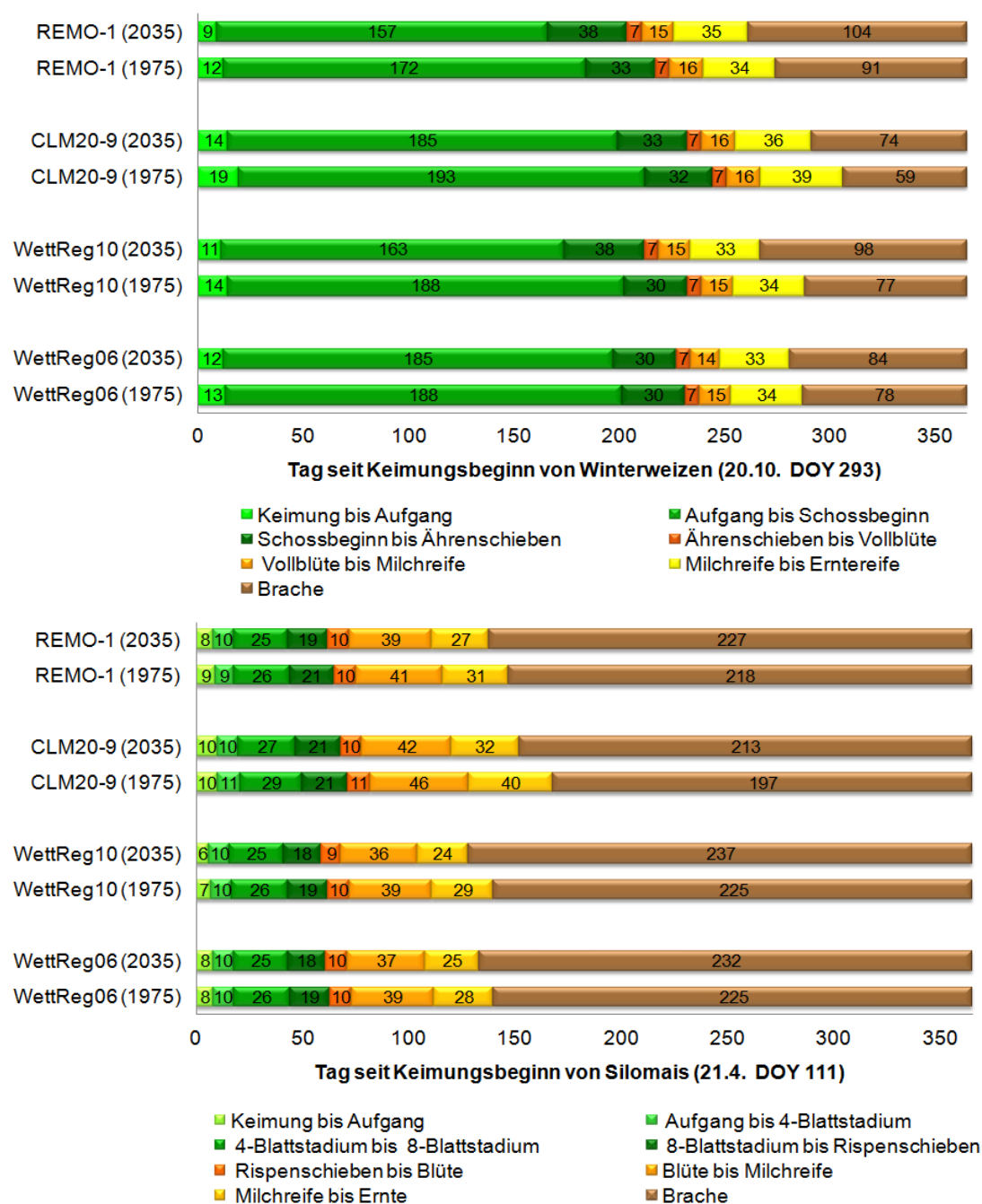


Abbildung 13: Vergleich der Dauer von Entwicklungsphasen am Beispiel Winterweizen und Silomais in den Perioden 1961-1991 (1975) und 2021-2050 (2035) für verschiedene Klimaprojektionen, Station Dresden. Die Zahlen sind Mittelwerte von Realisierungen des Szenarios A1B (Ergebnisse einzelner Realisierungen im Anhang)

## 4.2 Analyse von Fokusgebieten in Agrarstrukturregionen

### 4.2.1 Auswahl von Fokusgebieten

In der Modellregion Dresden sind alle Agrarstrukturgebiete Sachsens vertreten. Es wurden daher für die regionale Analyse Fokusgebiete in allen Anbauregionen gewählt (Abbildung 14). Mit Ausnahme des Erzgebirgskamms beinhalten diese gleichzeitig Agrarflächen von Modellbetrieben des REGKLAM-Projektes (vgl. Abbildung 4).

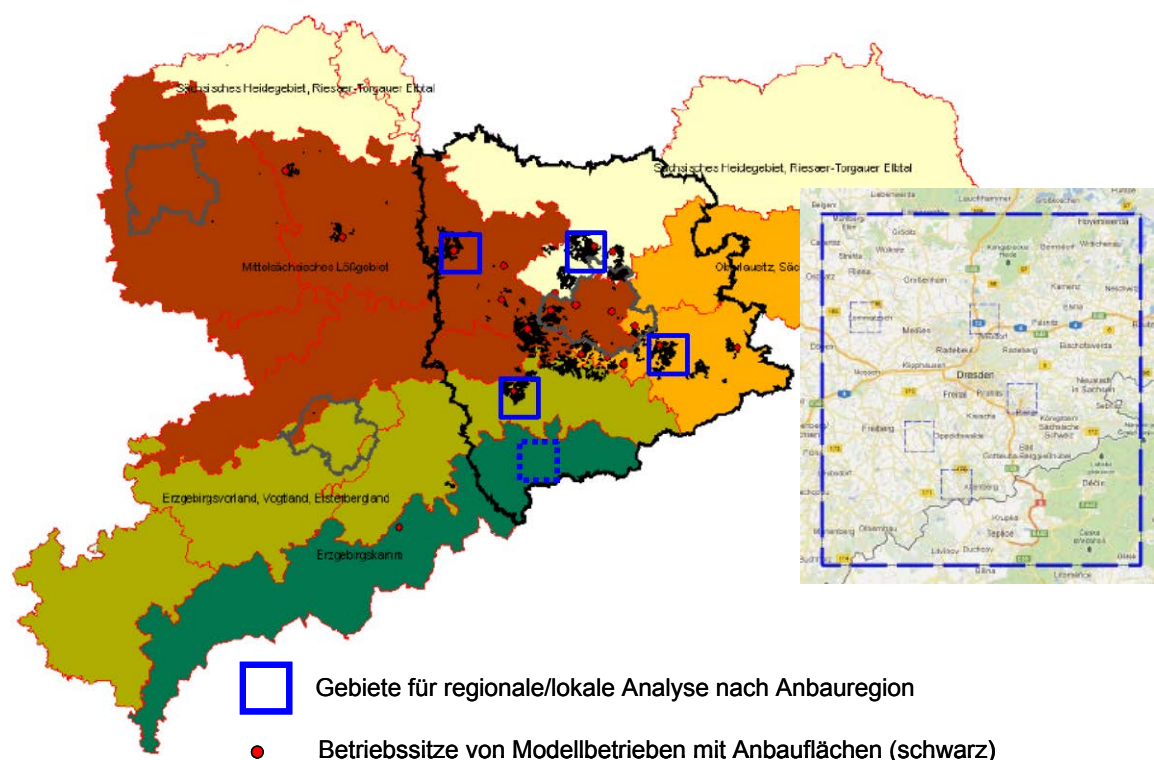


Abbildung 14: Landwirtschaftliche Fokusgebiete (blau) in den Agrarstrukturregionen der REGKLAM-Region: Mittelsächsisches Lößgebiet (braun), Sächsisches Heidegebiet (gelb), Oberlausitz/Sächsische Schweiz (hellbraun), Erzgebirgsvorland (hellgrün), Erzgebirgskamm (dunkelgrün), sowie Ausschnitt der Bildschirmansicht im LandCaRe-DSS mit gespeicherten Flächen der Fokusgebiete in der Modellregion (Quelle: LfULG, ergänzt)

Für die räumliche Analyse können die gewählten Fokusgebiete zunächst anhand verschiedener Karten im DSS charakterisiert werden. Die Google Earth Karten als Grundlage bieten räumliche Orientierung für die Auswahl der Gebiete, die auch per Koordinaten gewählt und gespeichert werden können. Die optische Satellitenansicht erleichtert zudem die Auswahl einzelner Schläge für die lokale Analyse von Betrieben (Abbildung 15, oben). Alle unterlegten thematischen Karten (Topographie, Landnutzung, Hydromorphie, Boden etc.) können angezeigt werden. Als Beispiel für die 5 Fokusgebiete ist in Abbildung 15 (unten) die Karte der Ackerzahl aus der Mittelmaßstäbigen Standortkartierung (MMK) dargestellt, die vom Ertragsmodell YIELDSTAT benötigt wird. Die Ackerzahl als Maß für die Standortgüte unterstützt die Auswahl repräsentativer Gebiete und Schläge sowohl für die regionalen als auch betriebsspezifischen Untersuchungen.



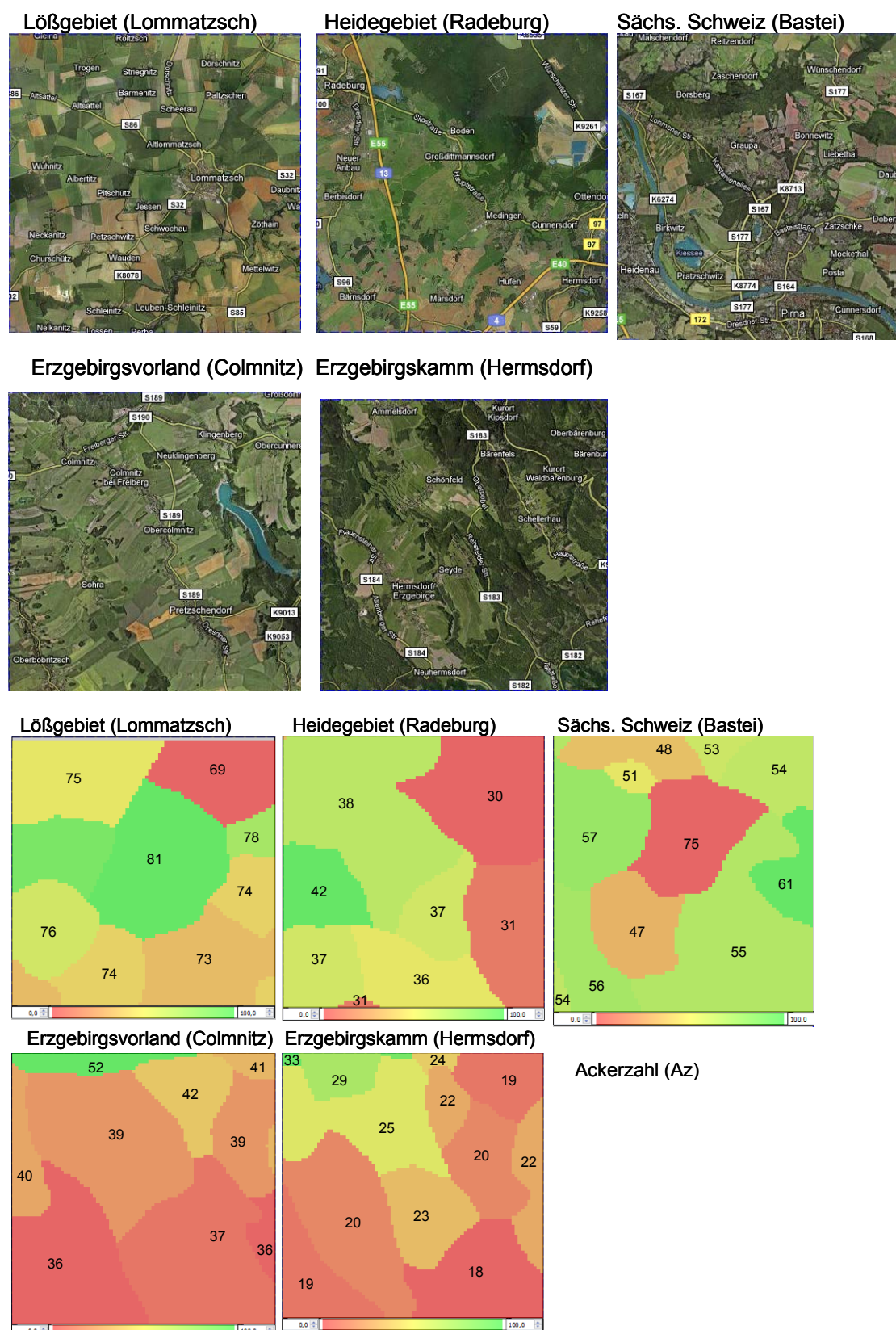


Abbildung 15: Bildschirmansichten der 5 Fokusgebiete in den verschiedenen Anbauregionen. Oben ist die Satellitenansicht der Karten von Google Earth™ dargestellt; unten die Kartierung der Ackerzahl (Az) nach der Bodenkarte MMK



#### 4.2.2 Simulation des Ernteertrages

Die zentrale Kenngröße für die Bewertung der Landwirtschaft im Klimawandel ist der zukünftige Ernteertrag. Im LandCaRe-DSS wird dieser auf regionaler Ebene mit dem statistisch-basierten Modell YIELDSTAT (Mirschel et al. 2009) berechnet. Auf lokaler Ebene steht für die Berechnung einzelner Ackerschläge zusätzlich ein prozessbasiertes Modell zur Verfügung. Die Klimaprojektionen können von den nächstgelegenen Stationen und Gitterpunkten oder regionalisiert auf das Fokusgebiet verwendet werden. Ferner sind Szenarios mit/ohne CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt, züchterisch-technischem Entwicklungstrend und Beregnung sowie für verschiedene Fruchtarten und Anbauverteilungen möglich (vgl. Kap. 4.3.1).

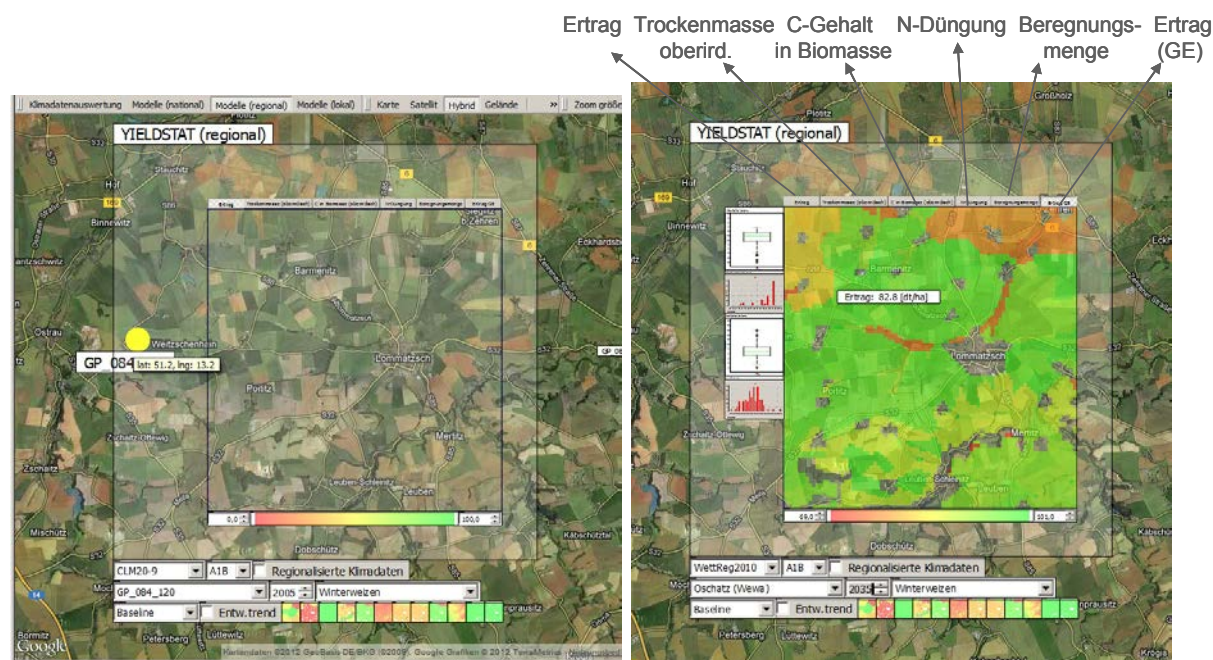


Abbildung 16: Bildschirmansicht der Fokusregion im Lößgebiet für das statistische Ertragsmodell YIELDSTAT zur Auswahl der Eingangsszenarien (links) und nach erfolgter Simulation mit Ergebniskarte und statistischen Informationen zur räumlichen und zeitlichen Varianz (Boxplots)

Entsprechend der Standortgüte in den verschiedenen Agrargebieten weisen die absoluten Ernteerträge die höchsten Werte im Sächsischen Lößgebiet auf gefolgt von Erzgebirgsvorland, Sächsische Schweiz und Heidegebiet. Während von 1961-1990 auf 1991-2020 bei Winterweizen noch mittlere Ertragssteigerungen über +20% möglich sind, liegen diese zwischen 1991-2020 und 2021-2050 unter 10% (Abbildung 17). Je nach Randbedingung kann die Ertragsentwicklung im Einzelfall bereits eine negative Tendenz aufweisen. Aufgrund der stabilen Niederschlags- und niedrigeren Temperaturniveaus in Klimaprojektionen des dynamischen Modells CLM sind hier die höchsten Ertragszunahmen zu verzeichnen gefolgt von den statistisch-dynamischen Modelltypen WETTREG2006 und WETTREG2010. Da der langfristige Trend des Niederschlags aus den Beobachtungsdaten eine abnehmende Tendenz aufweist, kann das CLM-Ergebnis allenfalls eine optimistische Obergrenze der Klimafolgenszenarien darstellen. Der fehlende CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt beim Silomais und seine Sensitivität gegenüber Trockenheit führen bei WETTREG-Klimaprojektionen bereits zu negativen Entwicklungen der mittleren Erträge. Dies gilt auch für das Heidegebiet bei Annahme einer regionalen Anbauverteilung verschiedener Fruchtarten (22% Winterweizen, 21% Winterraps, 20% Silomais, 10% Wintergerste, sowie Sommergerste, Acker- und Klee gras, Triticale, Körnermais, Hafer u.a.), während höchste relative Ertragszunahmen für den Erzgebirgskamm simuliert werden (Abbildung 18).

Da in der Region Erzgebirgskamm der Grünlandanteil überwiegt, wurde hier eigens die Grünlandproduktion (Modell GLPROD) untersucht. Die höchsten relativen Zunahmen der Trockenmasseproduktion finden sich bei der Projektion CLM, gefolgt von WETTREG2010, WETTREG2006 und WEREX-IV. Während in den tiefer gelegenen Regionen die höchsten relativen Ertragszunahmen von der

Periode 1961-1990 auf 1991-2020 erfolgen, ist dies am Erzgebirgskamm vom Zeitraum 1991-2020 auf 2021-2050 der Fall (Abbildung 19).

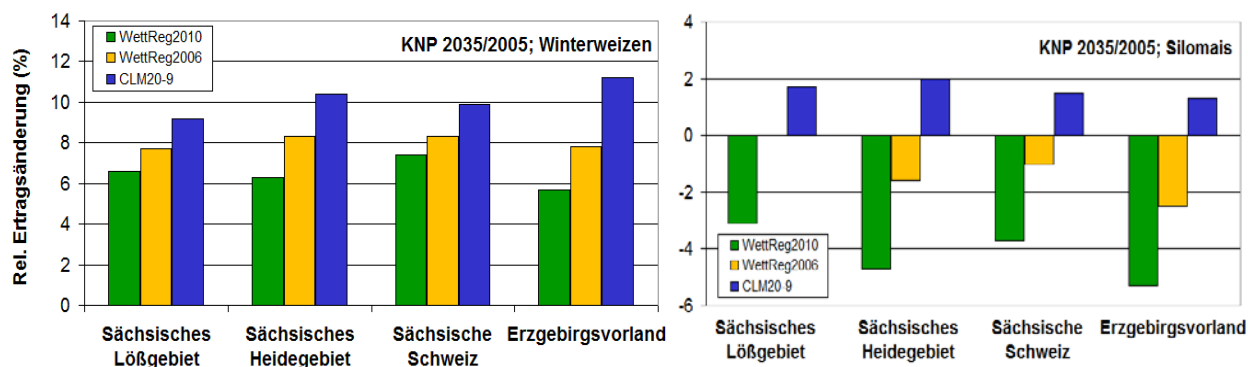


Abbildung 17: Relative Ertragsänderungen der Klimanormalperioden 2035 (2021-2050) zu 2005 (1991-2020) für Winterweizen und Silomais (oben) und eine regionale Anbauverteilung verschiedener Fruchtarten (unten, siehe Text) in den Fokusgebieten der Modellregion

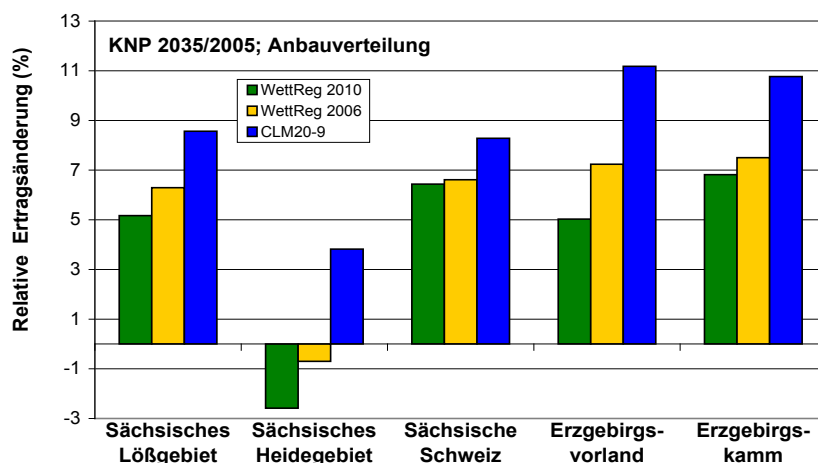


Abbildung 18: Relative Ertragsänderungen beim Vergleich der Klimanormalperioden 2035 (2021-2050) zu 2005 (1991-2020) für eine regionale Anbauverteilung verschiedener Fruchtarten (siehe Text) in den Fokusgebieten der Modellregion

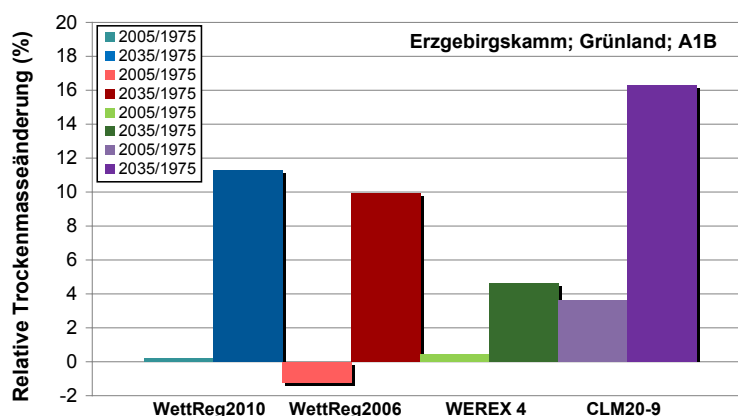


Abbildung 19: Relative Ertragsänderungen für Grünland im Gebiet Erzgebirgskamm beim Vergleich der Klimanormalperioden 2005 (1991-2020) zu 1975 (1961-1990) und 2035 (2021-2050) zu 1975 (1961-1990)

#### 4.2.3 Simulation des Zusatzwasserbedarfes

Eine zentrale Frage bei der Untersuchung von Klimawirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion ist die zukünftige Wasserverfügbarkeit. Dafür wurde mit dem Modell ZUWABE der Zusatzwasserbedarf simuliert. In diesem Fall wurde die Simulation auch für die späte Klimaperiode 2071-2100 durchgeführt, um zu zeigen, dass in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts alle verwendeten Klimaprojektionen einen Anstieg des Zusatzwasserbedarfes zeigen. Damit wird deutlich, dass zukünftig bei der Pflanzenproduktion ohne Bewässerung mit einem zunehmenden Wasserdefizit gerechnet werden muss. Unter der Voraussetzung, dass über den Winter die Böden wassergesättigt sind, wird auf den leichten Böden im Heidegebiet mehr Zusatzwasser benötigt als auf den tiefgründigen Lößböden (Abbildung 20). Der höchste Zusatzwasserbedarf tritt bei der Projektion WETTREG2010 auf, gefolgt von WEREX-V, WETTREG2006 und CLM. Mit dem LandCaRe-DSS ist es möglich, die Klimadaten anhand der in der Nähe gelegenen Stationen und Gitterpunkte sowie regionalisiert auf ein 1x1 km<sup>2</sup>-Gitter zu verwenden. Dies ist ratsam, wenn in der Nähe des zu untersuchenden Standortes keine Klimastation liegt. Die Rechenzeit des DSS liegt bei Nutzung regionalisierter Klimadaten jedoch höher. Die Unterschiede im berechneten Zusatzwasserbedarf zwischen den Klimamodellen sind jedoch höher als die Unterschiede aufgrund der Lage der Klimastation. Ansonsten umreisen die in und um die Modellregion Dresden gelegenen Klimastationen sehr gut die Spannweite des zukünftigen Wasserbedarfes.

Während der höchste Zusatzwasserbedarf auf den leichten Böden im Heidegebiet im Vergleich zum Lößgebiet zu verzeichnen ist, tritt der höchste relative Anstieg des Zusatzwasserbedarfes um das 2,5-fache bei der Projektion WETTREG2010 im Lößgebiet auf (Abbildung 21). Hier sind folglich auch deutliche Veränderungen zu erwarten.

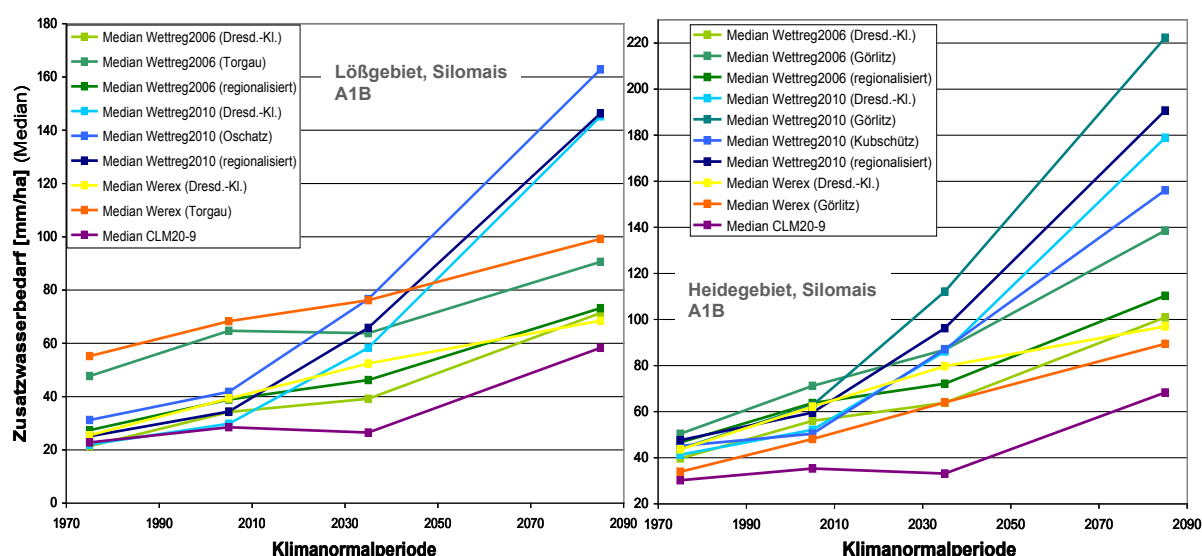


Abbildung 20: Änderung des absoluten Zusatzwasserbedarfes beim Vergleich der Klimanormalperioden 1975 (1961-1990), 2005 (1991-2020), 2035 (2021-2050) und 2085 (2071-2100) am Beispiel Silomais im Lößgebiet und Heidegebiet. Es wurden verschiedene Gitterpunkte, Klimaprojektionen und -stationen sowie regionalisierte Klimadaten verwendet (CLM20-9: räumlich gleitende Mittelung von 9 Gitterpunkten).

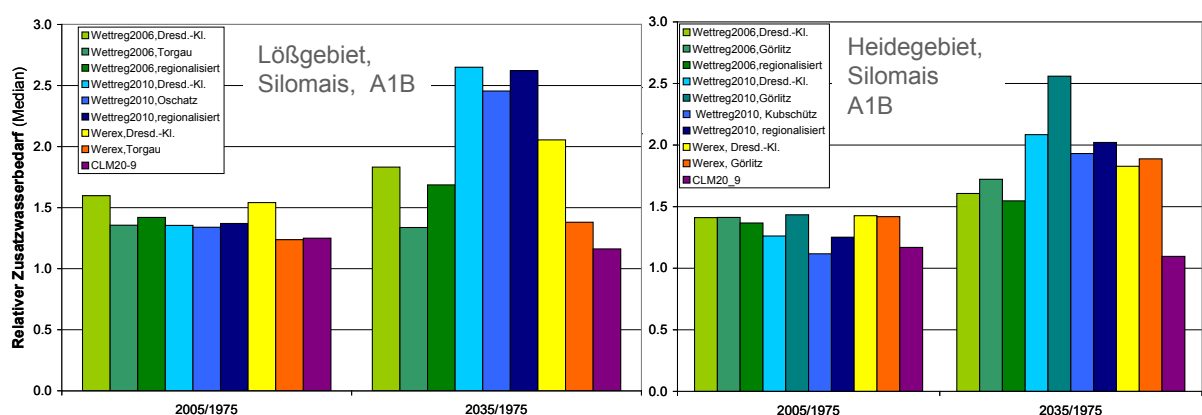


Abbildung 21: Relativer Anstieg des Zusatzwasserbedarfes für Silomais im Lößgebiet (links) und Heidegebiet (rechts) für verschiedene Klimaprojektionen beim Vergleich der Perioden 1991-2020 (KNP 2005) und 2021-2050 (KNP 2035) im Verhältnis zu 1961-1990 (KNP 1975)

## 4.3 Analysen auf Betriebsebene

### 4.3.1 Szenarios und Flächenauswahl

Auf der lokalen Ebene des LandCaRe-DSS lassen sich in Verbindung mit Bewirtschaftungsweisen sowie Preis- und Kostenszenarios auch ökonomische Kennzahlen von Betrieben gewinnen. Diese beruhen auf Ergebnissen von Ertragssimulationen für einzelne Ackerschläge oder Schlagverbände, die zu einem Betrieb gehören (Abbildung 22).



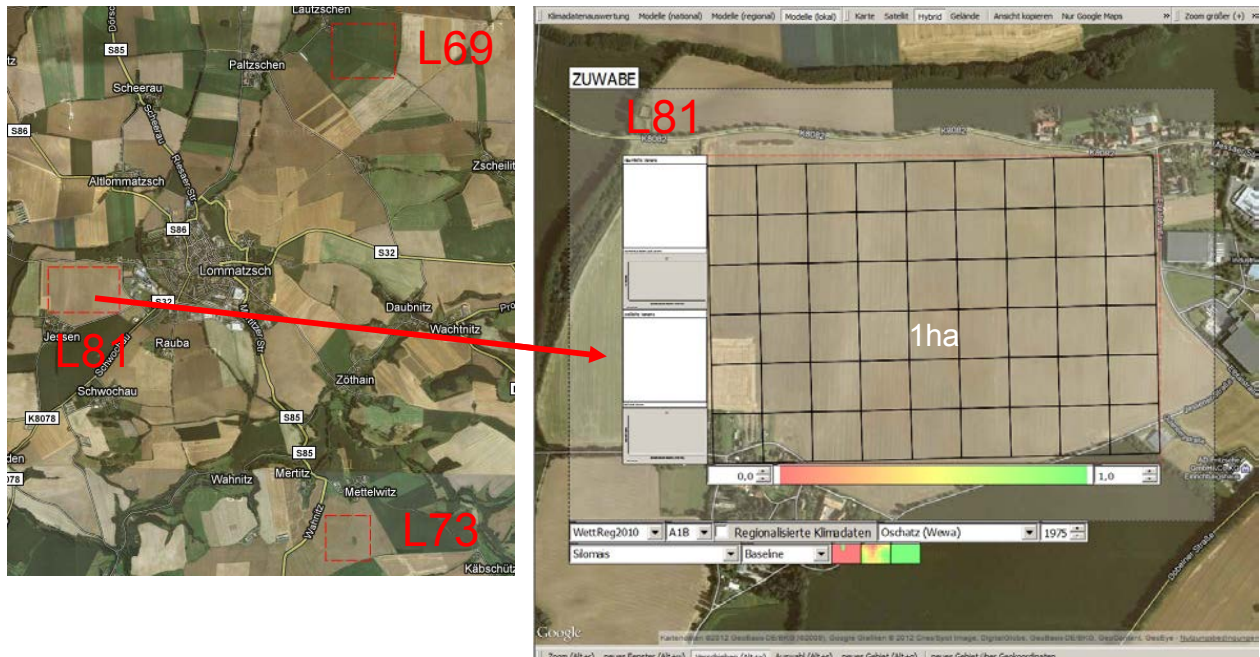


Abbildung 22: Bildschirmansicht mit Auswahl einzelner Ackerschläge (links mit Angabe der Ackerzahl) und Modellansicht (rechts, Beispiel Zusatzwasserbedarf, ZUWABE). Es lässt sich der Gesamtschnitt oder eine Teilfläche bis zur kleinsten Gittergröße (1 ha) berechnen

Für die Analysen auf lokaler Ebene wurden verschiedene Eingangsszenarien gewählt. Beim Klima wurden die Regionalisierungsmethoden unterschieden unter dem gleichen Emissionsszenario A1B; bei der Landwirtschaft hinsichtlich Wirkung des CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes, der Bewirtschaftung und ökonomischer Rahmenbedingungen.

#### Klima / Regionalisierungsmethode:

- WEREX-IV
- WETTREG2006
- WETTREG2010
- CLM20-9

#### Landwirtschaft / Pflanzenproduktion:

- ohne/mit CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt (ohne: 380 ppm [CO<sub>2</sub>], 380)
- ohne/mit züchterisch-technologischem Fortschritt (Trd)
- ohne/mit Beregnung (o/m B); mit Trockenjahren (Tro)

#### Preis- und Kostenentwicklung

- vTI-baseline (b)
- optimistisch (o)
- pessimistisch (p)

#### Referenzszenario:

##### Klimanormalperiode 1991-2020 (2005)

- ohne CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt (380)
- ohne Beregnung (oB)
- vTI-baseline (b)



Das Szenario „mit CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt“ stellt gewissermaßen eine Mischung aus klimatischem Szenario (Anstieg der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre nach Emissionsszenario A1B) und ökologischer Wirkung auf die Pflanzenproduktion dar. Die Parametrisierung des CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes erfolgte nach Feldexperimenten des Instituts für Biodiversität am Heinrich-von-Thünen Institut (vTI, u.a. Manderscheid und Weigel, 2012). Der Effekt des züchterisch-technologischen Fortschritts wurde von langjährigen Ertragsaufzeichnungen in Sachsen (1956-2007) abgeleitet und von der vorangehenden Studie zur „Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel“ (LfULG 2009, Mirschel et al. 2009) übernommen. Der Zusatzwasserbedarf sowie der erhöhte Bedarf unter Trockenjahren sind von Roth (1993) abgeleitet. Die ökonomischen Preis- und Kosten-szenarien wurden am Institut für Ländliche Räume des vTI entwickelt (Offermann et al. 2010).

#### 4.3.2 Ertrag und ökonomische Kennzahlen

Der Berechnung von Betriebskosten und ökonomischen Leistungen geht eine Ertragssimulation für eine Fruchtfolge unter betriebstypischen Bedingungen voraus. Neben den Ergebnissen zum Median sowie der räumlichen und zeitlichen Varianz von Erträgen der gewählten Fläche (Abbildung 23) werden Balkendiagramme oder Tabellen mit Ertrags- und Bewirtschaftungsdaten zur Fruchtfolge und ihren einzelnen Gliedern ausgegeben (siehe auch Tabellen im Anhang).

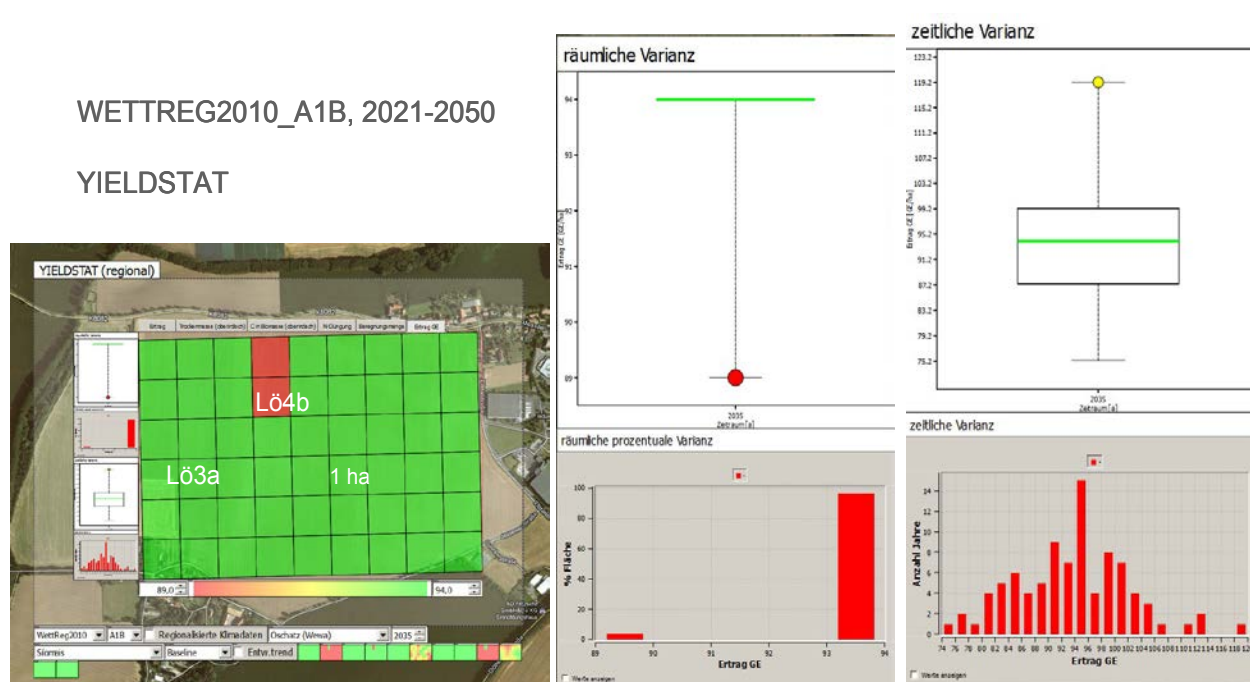


Abbildung 23: Bildschirmansicht nach erfolgter Simulation mit dem Ertragsmodell YIELDSTAT. Aufgrund zweier Bodentypen im Schlag ergeben sich zwei unterschiedliche Ertragswerte für die räumliche Varianz, die zeitliche Varianz bezieht sich auf Ertragsschwankungen innerhalb des 30jährigen Zeitraums

Wie bereits auf der regionalen Ebene gezeigt, ergeben sich positive Ertragsentwicklungen bei Winterweizen (C<sub>3</sub>-Pflanze, Winterfrucht) gegenüber negativen bei Silomais (C<sub>4</sub>-Pflanze, Sommerfrucht). Während unter Annahme eines fehlenden CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes für alle Fruchtarten zukünftig eine negative Entwicklung simuliert wird (Abbildung 24). Das Szenario „mit Trockenjahren“ (Tro) ist für die Schätzung der Beregnungsmenge bei anhaltender Trockenheit von Bedeutung (Angaben im Anhang). Bei ausreichender Beregnung kann der Ertrag unter diesen Trockenbedingungen aufrechterhalten werden. Allgemein zeigten auch andere Fruchtarten eine im Mittel positive Ertragsreaktion auf Beregnung, wenn auch einzelne Jahre ohne Beregnungsbedarf auftreten. Nur bei Winter-

rapen waren weder hohe Beregnungsmengen noch eine signifikante Reaktion auf Beregnung zu verzeichnen. Dies wäre damit zu erklären, dass seine Entwicklung bereits weit fortgeschritten ist, bevor hoher Beregnungsbedarf im Sommer auftritt. Aus Abbildung 24 geht hervor, dass die Annahme zum züchterisch-technologischen Fortschritt den stärksten Effekt auf die Ertragszunahme bei Winterweizen hat, gefolgt von Beregnung und CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt. Es muss jedoch festgestellt werden, dass der bisher angenommene züchterisch-technologische Fortschritttrend bei Winterweizen in den letzten 10-15 Jahren nicht mehr bestätigt wird, sondern der mittlere Ertrag stagniert (LfULG, Dr. Albert, pers. Mitteilung). Die Szenarios ohne Trendannahme sind daher nach derzeitiger Einschätzung zutreffender bzw. die Trendannahmen über 30jährige Perioden müssten neu angepasst werden. Beim Silomais ließen die Beobachtungen aus der Vergangenheit schon früher auf keinen positiven Trend schließen. Erfolgreichere Sorten und Anbauweisen könnten hier die Entwicklungen positiv beeinflussen. Dies wäre durch Feldversuche und Beobachtung zu untermauern.

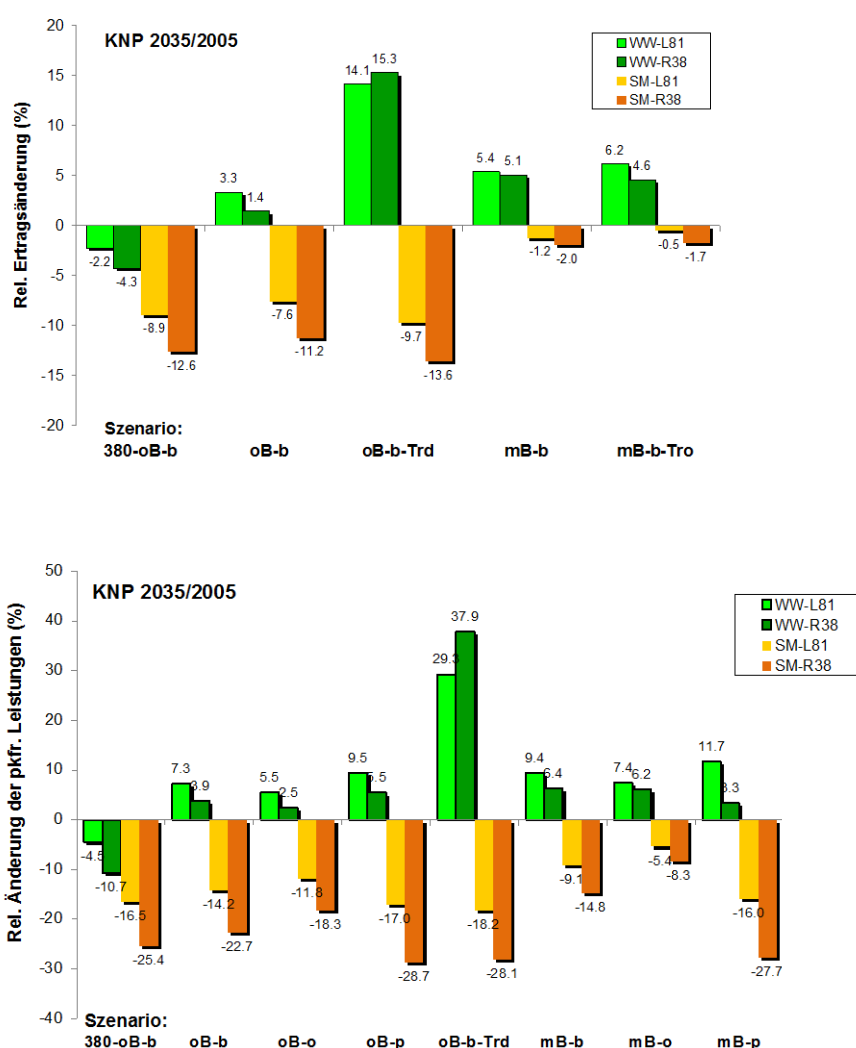


Abbildung 24: Relative Ertragsänderungen von Winterweizen (WW) und Silomais (SM) für zwei Standorte mit unterschiedlicher Bodengüte (L81: Lommatzsch im Lößgebiet, Ackerzahl 81; R38: Radeburg im Heidegebiet, Ackerzahl 38) bei verschiedenen Eingangsszenarios (380=ohne CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt, oB = ohne Beregnung, b = vTI-baseline; o = optimistisch, p = pessimistisch, Trd = mit Fortschritttrend, mb = mit Beregnung, Tro = mit Trockenjahren)

Die Änderungen der prozesskostenfreien Leistung zeigen beim Vergleich der Zeitperioden 2021-2050 zu 1991-2020 noch eine Zunahme beim Winterweizen und durchgehend negative Entwicklungen beim Silomais. Beim Vergleich mit dem Referenzszenario können die Erlöse mit Beregnung die Beregungskosten nur unter dem optimistischen Preis- und Kostenszenario kompensieren (Tabellen im Anhang).

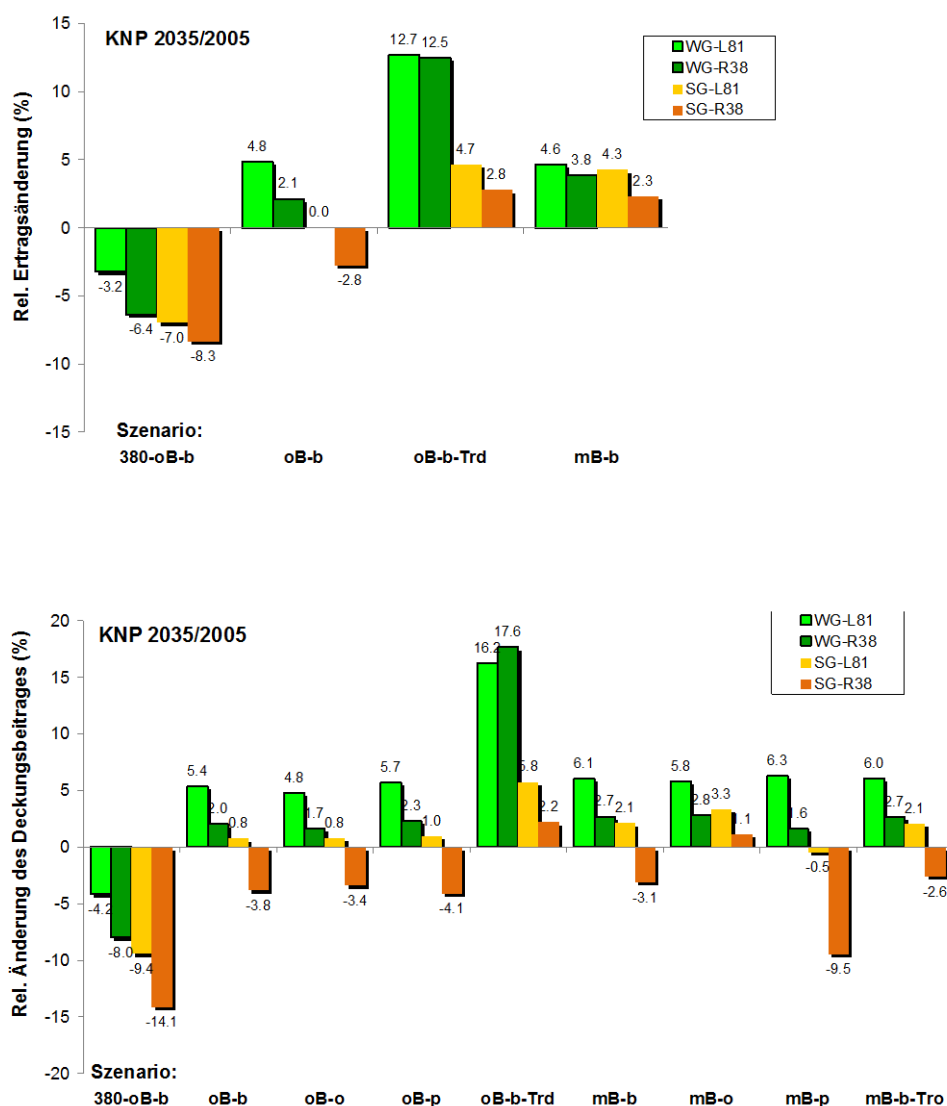


Abbildung 25: Relative Änderungen des Ertrages (oben) und des Deckungsbeitrages (unten) von Wintergerste (WG) und Sommergerste (SG) für die Standorte Lommatzsch (L81) und Radeburg (R38) bei verschiedenen Eingangsszenarios (380=ohne CO<sub>2</sub>-Düngeeffekt, oB = ohne Beregnung, b = vTI-baseline; o = optimistisch, p = pessimistisch, Trd = mit Fortschrittstrend, mb = mit Beregnung, Tro= mit Trockenjahren)

Der Vergleich von Winter- und Sommergerste verdeutlicht, dass zukünftig Wintergetreide Vorteile aufgrund der früheren Entwicklung haben (Abbildung 25). Sie können einerseits das wärmere Frühjahr zum Wachstum besser nutzen und weichen durch frühere Ernte der Sommertrockenheit aus. Zu hohe Temperaturen während der Entwicklung der Kornanlagen und zu rasches Abreifen können allerdings die Kornzahl und -qualität negativ beeinträchtigen, was in der Simulation nicht berücksichtig

sichtigt ist. Insgesamt neigen Simulationen eher zu Überschätzungen des realen Ertrages, das sie von optimalem Management ausgehen, das in der Realität oft nicht erreicht wird. Insgesamt wird die Herausforderung zukünftig mehr darin bestehen, das Ertragsniveau zu halten, als dass Steigerungen ohne sichtliche Verbesserungen im züchterisch-technologischen Fortschritt und in der Bewirtschaftung zu erwarten wären.

## 5. Zusammenfassung

Das Entscheidungshilfesystem LandCaRe-DSS (Land, Climate and Resources Decision Support System) ist eine modellbasierte Wissensplattform, die die explizite Simulation von regionalen und lokalen Auswirkungen des Klimawandels anhand von regionalen Klimaprojektionen ermöglicht. Damit soll das Wissen um mögliche Klimafolgen ergänzt und die Ableitung von Anpassungsmaßnahmen in der Landwirtschaft unterstützt werden. Ziel des Teilprojektes (TP3.3.1g) war die Übertragung des Systems auf die Modellregion Dresden. Danach sollten erste Simulationen von Klimawirkungen anhand von Fokusgebieten um landwirtschaftliche Modellbetriebe erfolgen, die unterschiedlichen Agrarstrukturgebieten in der Modellregion angehören. Zur Übertragung des Systems war es erforderlich, die Klima-, Modell- und Geodatenbank hinsichtlich gitter- und stationsbezogener Daten und Analysefunktionen zu erweitern. Die Klimadatenbank wurde an die REGKLAM-Klimadatenbank angepasst. Neben einer Reihe weiterer Geodaten konnte insbesondere die neue Bodenkarte für Sachsen (BK50) in das DSS integriert werden. Die Simulationen wurden mit Schwerpunkt auf den Zeiträumen 1991-2020 und 2021-2050 und dem Emissionsszenario A1B durchgeführt. Die Untersuchung von Klimawirkungen bezog sich auf die Fokusgebiete Lößhügelland, Heidegebiet und Sächsische Schweiz ergänzt durch Erzgebirgsvorland und Erzgebirgskamm. Die stärksten zukünftigen Veränderungen beim landwirtschaftlichen Ertrag und anderen Größen wie Zusatzwasserbedarf wurden mit WETTREG2010 gefolgt von WEREX-IV, WETTREG2006 und CLM20 simuliert. Bei CLM20 traten durchwegs keine negativen Änderungen auf. Nur unter Annahme eines CO<sub>2</sub>-Düngeeffektes ließen sich negative Klimawirkungen kompensieren. Ansonsten ergaben sich negative Ertragsentwicklungen vor allem beim Silomais, bei Sommerfrüchten und auf wenig wasserspeichernden Böden (Heidegebiet). Berechnung wirkte sich außer bei Winterraps deutlich positiv auf den Ertrag aus. Ökonomische Analysen auf Betriebsebene zeigten jedoch, dass die Berechnungskosten für Getreide überwiegend nur unter Annahme optimistischer Preis- und Kostenszenarios gedeckt sind. Allgemein lässt sich folgern, dass die Übertragung des LandCaRe-DSS auf die Modellregion Dresden und der flexible Umgang mit neuen Klimaprojektionen erfolgreich waren. Die erste projektbezogene Anwendung des Systems erbrachte neue Aspekte zu Verbesserung der Handhabung und Analysemöglichkeiten. Der Abgleich zwischen spezifischen DSS-Ergebnissen und Beobachtungen der Praxispartner sollte fortgesetzt werden. Allgemein wird die DSS-Technologie zukünftig zur Standardisierung und Nutzung des Ensembles-Ansatzes bei der Klimawirkungsforschung beitragen.

## 6. Executive Summary

The LandCaRe DSS (Land, Climate and Resources Decision Support System) is a model-based knowledge platform which enables the explicit simulation of regional and local impacts of climate change using regional climate projections. This should supplement the knowledge of possible climate impact and support the derivation of adaptation measures for agriculture. Objective of the project (TP3.3.1g) was the transfer of the system to the model region Dresden. After this, first simulations of climate impact exemplarily for focus areas around model farms should follow. These farms were situated in areas of different agricultural site conditions. For the transfer of the system the climate, model and geo data base had to be supplemented. The climate data bank was adapted to the REGKLAM data bank. Besides a series of other geo data it was possible to integrate the new soil map of Saxony (BK50) into the DSS. Simulations were performed with emphasis on the climate

periods 1991-2020 and 2021-2050 and the emission scenario A1B. The examinations of climate impact were related to the focus areas Lößhügelland, Heidegebiet and Sächsische Schweiz supplemented by Erzgebirgsvorland and Erzgebirgskamm. Strongest future changes of agricultural yield and other measures like water demand for irrigation were simulated with WETTREG2010 followed by WEREX-IV, WETTREG2006 and CLM20. With CLM20 no negative changes were found at all. Only when assuming a CO<sub>2</sub>-fertilisation effect a negative impact of climate change was compensated. Besides this, negative developments of yield were especially found for silage maize, spring crops and on soils of low water-holding capacity (Heidegebiet). Except for winter rape, irrigation had a significant positive effect on yield. However, economic analyses at the farm level revealed that the irrigation costs for cereals were only covered under an optimistic scenario of prices and costs. Generally, it can be concluded that the transfer of the LandCaRe DSS to the model region Dresden and the flexible use of new climate projections were successful. The first project-related application of the system delivered new aspects to improve the system with respect to handling and possible analyses. The reconciliation between specific DSS results and observations of practitioners should be continued. Generally, the DSS technology will contribute to standardisation and application of the ensembles approach in climate impact research.



## 7. Literatur

Berg, M., Wieland, R., Wenkel, K.-O. 2009: LandCaRe-DSS - ein interaktives, modellgestütztes Wissens- und Entscheidungsunterstützungssystem für die Klimaanpassung der Landwirtschaft. In: Bill, R., Korduan, P., Theuvsen, L., Morgenstern, M. (Hrsg.) Anforderungen an die Agrarinformatik durch Globalisierung und Klimaveränderung. GI-Edition, Lecture Notes in Informatics, 25-28

Bernhofer, CH., Matschullat, J., Bobeth, A. (Hrsg.) 2009: Das Klima in der REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden. Heft 1

Bernhofer, CH., Matschullat, J., Bobeth, A. (Hrsg.) 2011: Klimaprojektionen für die REGKLAM-Modellregion Dresden. Publikationsreihe des BMBF-geförderten Projektes REGKLAM – Regionales Klimaanpassungsprogramm für die Modellregion Dresden. Heft 2

Chmielewski, F.M., Blümel, K. 2012: Klimawandel und Obstbau. *promet*, 23, Nr. 1/2

Franke, J., Häntzschel, J., Goldberg, V., Bernhofer, C. 2008: Application of a trigonometric approach to the regionalization of precipitation for a complex small-scale terrain in a GIS environment. *Meteorological Applications* 15, 483-490

Jacob, D., Podzun, R. 1997: Sensitivity studies with the regional climate model REMO. *Meteorological Atmospheric Physics*, 63, 119-129

Köstner, B. Bernhofer, Ch. Anter, J. Berg, M. Franke, J., Gömann, H., Kersebaum, K.C., Kreins, P., Kuhnert, M. Lindau, R., Manderscheid, R., Mengelkamp, H.-T., Mirschel, W., Nendel, C., Nozinski, E., Richwien, M., Pätzold, A., Simmer, C., Stonner, R., Weigel, H.J., Wenkel, K.-O., Wieland, R. (2009) Anpassung ländlicher Räume an regionale Klimaänderungen – die Wissensplattform LandCaRe-DSS. In: Mahammad Mahammadzadeh, Hendrik Biebler und Hubertus Bardt (Hrsg.) 2009: Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen - Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele. Köln, 295-301

Köstner B 2012: Das Entscheidungshilfesystem LandCaRe-DSS. Ein Entscheidungshilfesystem für die Landwirtschaft. REGKLAM Faktenblatt, Nov. 2012, 4 S.

Köstner B, Wenkel K-O, Bernhofer Ch 2012: Neue modellbasierte Informationssysteme für Klimafolgenzenarien in der Landwirtschaft. *promet*, 23, Nr. 1/2, 3-12

Köstner B, Wenkel K-O, Bernhofer Ch, Gömann H, Weigel H-J 2013: Integrating regional climatology, ecology, and agronomy for impact analysis and climate change adaptation of German agriculture: an introduction to the LandCaRe2020 project. *European Journal of Agronomy. Special Issue*, in press

Kreienkamp F, Spekat A, Enke W 2010: Ergebnisse eines regionalen Szenarienlaufs für Deutschland mit dem statistischen Modell WETTREG2010. Bericht an das Umweltbundesamt (Z4-BR-50 201-2/4)

LfULG (Hrsg.) 2009: Klimawandel und Landwirtschaft - Fachliche Grundlagen für die Strategie zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Informationsschrift des Sächsisches Landesamtes für Landwirtschaft, Umwelt und Geologie (LfLUG), Dresden

Manderscheid R, Weigel H-J 2012: Das Braunschweiger FACE-Experiment. *promet*, 23, Nr. 1/2

Mirschel, W., Wenkel, K.-O., Wieland, R., Luzi, K., Albert, E., Köstner, B. 2009: Klimawandel und Ertragsleistung: Auswirkungen des Klimawandels auf die Ertragsleistung ausgewählter landwirtschaftlicher Fruchtarten im Freistaat Sachsen - eine landesweite regionaldifferenzierte Abschätzung In: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (Hrsg.): Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG, Sachsen), Heft 28/2009, Dresden (ISSN: 1867-2868)

Nendel, C., Berg, M., Kersebaum, K.C., Mirschel, W., Specka, X., Wegehenkel, M., Wenkel, K.O., Wieland, R. 2011: The MONICA model: Testing predictability for crop growth, soil moisture and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* 222, 1614-1625

Neumann PA, Matzarakis A 2011: Viticulture in southwest Germany under climate change conditions. *Clim Res* 46, 161-169

Offermann, F., Gömann, H., Kreins, P., von Ledebur, O., Pelikan, J., Salamon, P., Sanders, J., 2010. vTI-Baseline 2009 to 2019: Agri-economic projections for Germany. *Landbauforschung* 60 (3), 157-172

Rockel, B., Will, A., Hense, A. (eds) 2008: Regional climate modelling with COSMO-CLM (CCLM), *Meteorologische Zeitschrift* 17, Special Issue.

Roth, D. 1993: Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf in der Feldberechnung. In: *Schriftenreihe LUFA Thüringen, Heft 6 (Richtwerte Pflanzenproduktion)*, 53-86

Schmidt, R., Diemann, R. (Eds.) 1991: Erläuterungen zur Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung (MMK). FZB Münchenberg

Schultz, HR 2000: Climate Change and Viticulture: An European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects, *Australian Journal of Grape and Wine Research* (6) 2-12

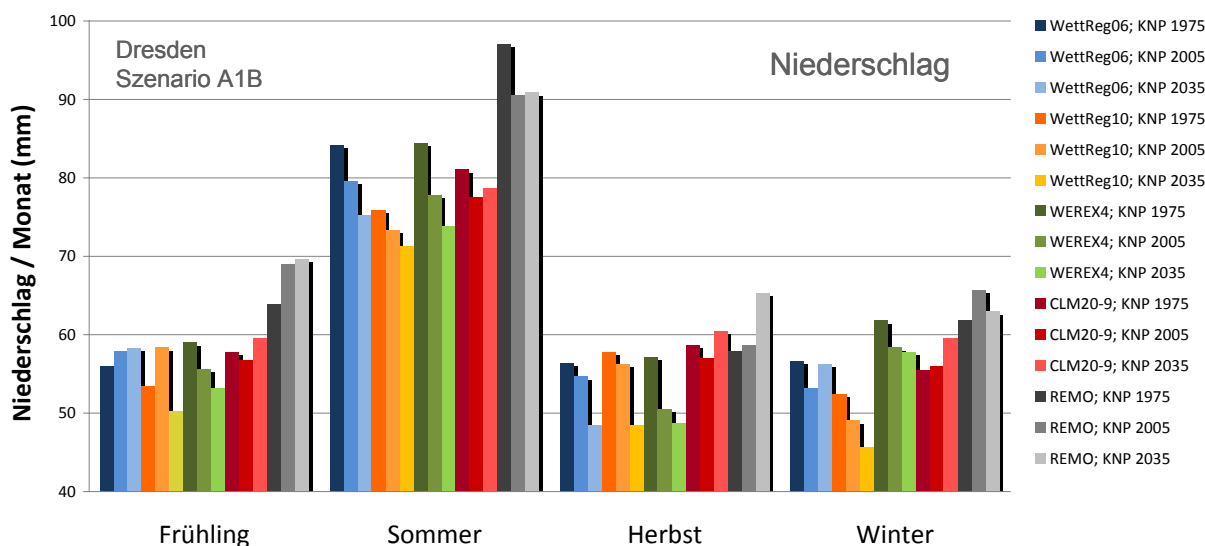
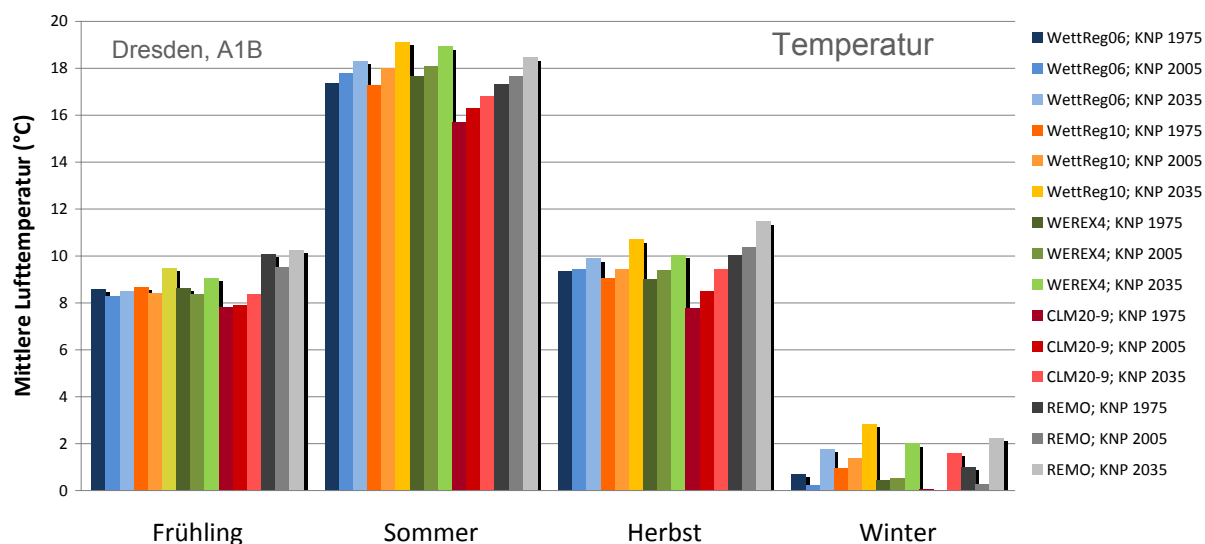
Schwärzel, H 2000: Untersuchungen zu Kriterien der Standort- und Gehölzauswahl bei extensiven Anpflanzungen von Obstbäumen. Dissertation, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin

Wenkel, K.-O., Mirschel, W., Berg, M., Nendel, C., Wieland, R., Köstner, B. 2011a: Klimawandel. Fluch oder Segen für die Landwirtschaft. Was die LandCaRe-Simulationen sagen. Senat der Bundesforschungsinstitute. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Forschungsreport 2/2011, 4-8

Wenkel, K.-O.; Mirschel, W.; Berg, M.; Wieland, R.; Köstner, B. 2011b: Experience from the Use of the Interactive Model- and GIS-based Information and Decision Support System LandCaRe-DSS for the Development of Economic Effective Application Strategies of Agriculture to Climate Change. In: Salampasis, M.; Matopoulos, A. (eds.): *HAICTA 2011 - 5th International Conference on Information Technologies in Agriculture, Food and Environment* (8-11 September, 2011, Skiathos, Greece), Volume I, HAICTA - Branch of Northern and Central Greece, p. 129-140

## 8. Anhang

Saisonale Charakteristika von 30jährigen Klimanormalperioden der Klimaprojektionen



## Änderung von Eintrittsterminen landwirtschaftlicher Fruchtarten (Modell ONTO)

Änderung des Eintrittstermins KNP 2035-1975  
Emissionsszenario A1B; Dresden

Änderung des Eintrittstermins (d)	Aufgang	Schossen	Ährenschieben	Vollblüte	Milchreife	Brache
<b>Winterweizen (19.10.)*</b>						
WettReg06	-1	-4	-4	-4	-5	-6
WettReg10	-3	-28	-20	-20	-20	-21
CLM20-9	-5	-13	-12	-12	-12	-15
REMO	-3	-18	-13	-13	-14	-13
<b>Winterroggen (9.10.)*</b>						
WettReg06	-1	-7	-4	-4	-5	-7
WettReg10	-3	-38	-24	-21	-20	-22
CLM20-9	-4	-16	-13	-13	-13	-14
REMO	-2	-28	-16	-13	-13	-13
<b>Wintergerste (20.9.)*</b>						
WettReg06	-1	-7	-4	-5	-5	-6
WettReg10	-2	-38	-27	-25	-23	-23
CLM20-9	-3	-17	-16	-15	-15	-15
REMO	-1	-28	-19	-16	-16	-16

Änderung des Eintrittstermins (d)	Aufgang	4-Blattstadium	8-Blattstadium	Rispen- schieben	Blüte	Milchreife	Brache
<b>Silomais (16.3.)*</b>							
WettReg06	0	0	-1	-2	-2	-4	-7
WettReg10	-3	-2	-3	-4	-5	-9	-13
CLM20-9	-6	-6	-7	-7	-6	-11	-19
REMO	7	5	3	1	1	-1	-3
<b>Silomais (20.4.)*</b>							
WettReg06	0	0	-1	-2	-2	-4	-7
WettReg10	-1	-1	-2	-3	-4	-7	-12
CLM20-9	0	-1	-3	-3	-4	-8	-16
REMO	-1	0	-1	-3	-3	-5	-9
<b>Silomais (15.5.)*</b>							
WettReg06	0	-1	-1	-2	-3	-5	-8
WettReg10	-1	-1	-2	-4	-4	-9	-15
CLM20-9	-1	-1	-2	-3	-4	-9	-21
REMO	-1	-1	-2	-2	-3	-6	-11

Änderung des Eintrittstermins (d)	Aufgang	Bestandes- schluss	Blühbeginn	Blühende	Brache
<b>Winterraps (28.8.)*</b>					
WettReg06	0	-117	-6	-6	-8
WettReg10	-1	-134	-5	-28	-25
CLM20-9	-1	-48	-19	-18	-19
REMO	-1	-16	-25	-20	-17

\* Saattermin

Änderung von Eintrittsterminen landwirtschaftlicher Fruchtarten (Modell ONTO)  
Vergleich von Realisierungen

**Änderung des Eintrittstermins KNP 2035-1975**

WETTREG2010, A1B, Dresden

**Winterweizen** (Saattermin: 21.10.)

Änderung des Eintrittstermins (d)	Aufgang	Schossen	Ährenschieben	Vollblüte	Milchreife	Brache
Realisierung 00	-3	-30	-21	-21	-21	-22
Realisierung 11	-2	-30	-20	-20	-20	-21
Realisierung 22	-2	-32	-22	-23	-22	-23
Realisierung 33	-3	-31	-21	-21	-21	-21
Realisierung 44	-3	-23	-18	-18	-18	-19
Realisierung 55	-2	-24	-18	-17	-18	-18
Realisierung 66	-3	-31	-22	-21	-22	-23
Realisierung 77	-2	-33	-21	-21	-21	-22
Realisierung 88	-3	-37	-25	-25	-23	-24
Realisierung 99	-4	-26	-19	-19	-19	-20
<b>Mittelwert 00, 55, 99</b>	<b>-3</b>	<b>-26</b>	<b>-20</b>	<b>-19</b>	<b>-19</b>	<b>-20</b>

**Silomais** (Saattermin: 15.4.)

Änderung des Eintrittstermins (d)	Aufgang	4-Blattstadium	8-Blattstadium	Rispen- schieben	Blüte	Milchreife	Brache
Realisierung 00	-2	-2	-5	-5	-5	-9	-12
Realisierung 11	-5	-4	-3	-5	-5	-8	-13
Realisierung 22	0	1	-1	-2	-3	-7	-11
Realisierung 33	-2	-3	-2	-3	-4	-7	-13
Realisierung 44	0	1	-2	-3	-4	-8	-12
Realisierung 55	-3	-3	-3	-4	-5	-8	-12
Realisierung 66	0	-1	-2	-3	-4	-8	-12
Realisierung 77	-1	-2	-2	-4	-3	-7	-12
Realisierung 88	2	2	-1	-2	-4	-7	-11
Realisierung 99	-3	-2	-4	-4	-5	-9	-13
<b>Mittelwert 00, 55, 99</b>	<b>-3</b>	<b>-2</b>	<b>-3</b>	<b>-4</b>	<b>-5</b>	<b>-9</b>	<b>-13</b>



## Ertragssimulation – Vergleich von Realisierungen

### Ertrag (YIELDSTAT regional)

WettReg2010, A1B, Fokusgebiet Radeburg

#### räumliche Varianz (Median)

	(GE/ha)		
	KNP 1975	KNP 2005	KNP 2035
<b>Winterweizen</b>			
Mittelwert 00,55,99	65.0	74.3	75.2
Realisierung 00	64.2	74.2	76.5
Realisierung 11	65.3	74.5	76.4
Realisierung 22	64.3	74.1	76.5
Realisierung 33	65.0	74.0	76.3
Realisierung 44	63.6	73.5	76.2
Realisierung 55	65.2	75.4	74.1
Realisierung 66	67.0	75.0	75.8
Realisierung 77	65.7	75.9	76.5
Realisierung 88	66.2	74.5	75.6
Realisierung 99	65.8	73.3	75.0

<b>Silomais</b>			
Mittelwert 00,55,99	92	88.9	79.2
Realisierung 00	90.4	88.9	81.4
Realisierung 11	92.5	89.1	81.4
Realisierung 22	90.7	88.1	81.7
Realisierung 33	91.5	88.0	81.4
Realisierung 44	89.3	87.7	81.0
Realisierung 55	92.1	90.3	77.4
Realisierung 66	94.7	90.1	80.2
Realisierung 77	93.0	91.3	81.5
Realisierung 88	93.2	89.2	80.0
Realisierung 99	93.1	87.2	78.9

<b>Weisseritz-Standard</b>			
Mittelwert 00,55,99	57.6	66.2	60.9
Realisierung 00	56.2	64.6	59.9
Realisierung 11	57.6	66.3	60.5
Realisierung 22	56.5	66.3	60.2
Realisierung 33	56.9	66.0	60.8
Realisierung 44	55.4	65.5	59.6
Realisierung 55	57.2	66.8	59.3
Realisierung 66	58.9	66.4	61.6
Realisierung 77	57.3	67.6	60.4
Realisierung 88	57.8	66.4	59.6
Realisierung 99	57.9	64.8	59.6

#### zeitliche Varianz (Median)

	(GE/ha)		
	KNP 1975	KNP 2005	KNP 2035
<b>Winterweizen</b>			
Mittelwert 00,55,99	62.0	72.9	74.0
Realisierung 00	60.5	72.2	75.3
Realisierung 11	62.0	73.2	74.6
Realisierung 22	62.4	72.4	75.1
Realisierung 33	62.7	71.8	74.5
Realisierung 44	60.1	71.5	74.3
Realisierung 55	62.3	73.7	72.8
Realisierung 66	64.0	72.1	73.6
Realisierung 77	62.8	72.3	74.6
Realisierung 88	63.2	72.1	74.8
Realisierung 99	62.8	70.8	73.4

<b>Silomais</b>			
Mittelwert 00,55,99	87.0	85.5	76.8
Realisierung 00	86.8	86.7	79.4
Realisierung 11	88.3	84.6	76.9
Realisierung 22	88.2	85.4	79.5
Realisierung 33	87.6	84.8	79.4
Realisierung 44	84.3	83.2	79.1
Realisierung 55	88.3	85.7	72.8
Realisierung 66	90.8	85.1	77.8
Realisierung 77	88.8	86.3	77.4
Realisierung 88	90.4	85.1	75.9
Realisierung 99	89.6	80.6	76.6

<b>Weisseritz-Standard</b>			
Mittelwert 00,55,99	60.0	64.7	64.6
Realisierung 00	59.2	65.2	66.2
Realisierung 11	60.5	65.3	65.2
Realisierung 22	59.4	64.2	65.6
Realisierung 33	59.8	64.2	65.1
Realisierung 44	58.8	64.5	65.9
Realisierung 55	60.2	65.6	62.8
Realisierung 66	61.2	64.9	65.2
Realisierung 77	60.4	66.2	65.6
Realisierung 88	60.9	64.5	64.4
Realisierung 99	60.5	63.5	63.6

Weisseritz-Standard = Standard Anbauverteilung, siehe Text S. 18

Ergebnisse auf Betriebsebene (YIELDSTAT-EÖM)

		L81, WETTREG2010, A1B, regionalisiert				Hauptertrag			
		1991-2020		2021-2050		1991-2020		2021-2050	
		dt/ha	%	dt/ha	%	dt/ha	%	dt/ha	%
Szenarios	<b>Winterweizen, pfluglos</b>								
	380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, base	84	100	82	98				
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base	84	100	87	104				
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend	87	104	99	118				
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base	88	105	93	111				
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.	91	108	96	114				
		Deckungsbeiträge				Prozesskostenfr. Leistung			
		1991-2020		2021-2050		1991-2020		2021-2050	
		€/ha	%	€/ha	%	€/ha	%	€/ha	%
<b>Winterweizen. pflugl.</b>									
	380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, baseline	688	100	667	97	390	100	371	95
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, baseline	692	101	726	106	394	101	426	109
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, optimistisch	1124	163	1173	170	825	212	872	224
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, pessimistisch	547	80	576	84	249	64	275	71
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, baseline, mit Trend	717	104	856	124	417	107	548	141
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, baseline	623	91	658	96	323	83	355	91
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, optimistisch	1086	158	1150	167	786	202	845	217
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, pessimistisch	457	66	480	70	156	40	177	45
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, baseline, mit Trockenj.	626	91	662	96	323	83	355	91

## L81

		Düngermenge				Düngerkosten			
		1991-2020		2021-2050		1991-2020		2021-2050	
		kg/ha	%	kg/ha	%	€/ha	%	€/ha	%
<b>Winterweizen, pflugl.</b>									
	380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, base	174	100	170	98	181	100	177	98
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base	175	101	181	104	182	101	188	104
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, opt	175	101	181	104	155	86	160	88
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, pess	175	101	181	104	209	115	217	120
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend	179	103	205	118	186	103	213	118
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base	181	104	192	110	189	104	199	110
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, opt	181	104	192	110	160	88	169	93
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, pess	181	104	192	110	217	120	229	127
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.	189	109	200	115	196	108	208	115
		Berechnungsmenge				Berechnungskosten			
		1991-2020		2021-2050		1991-2020		2021-2050	
		mm/ha	%	mm/ha	%	€/ha	%	€/ha	%
<b>Winterweizen, pflugl.</b>									
	380ppm CO <sub>2</sub> , base	22	100	35	159	105	100	125	119
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, base	22	100	35	159	105	100	125	119
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, opt	22	100	35	159	89	85	106	101
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, pess	22	100	35	159	121	115	144	137
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, base, mit Trockenj.	47	214	62	282	143	136	165	157

L81, WETTREG2010, A1B, regionalisiert		Hauptertrag			
		1991-2020		2021-2050	
		dt/ha	%	dt/ha	%
Szenarios	<b>Silomais, pfluglos</b>				
	380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, baseline	527	100	480	91
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, baseline	528	100	488	93
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend	525	100	474	90
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, baseline	568	108	561	106
	mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.	623	118	620	118
		Deckungsbeiträge			
		1991-2020		2021-2050	
		€/ha	%	€/ha	%
<b>Silomais, pflugl.</b>					
380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, base		1114	100	994	89
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base		1116	100	1013	91
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, opt		1475	132	1345	121
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, pess		914	82	827	74
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend		1109	100	979	88
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base		1095	98	1036	93
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, opt		1499	135	1443	130
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, pess		860	77	797	72
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.		1166	105	1112	100
		Prozesskostenfr. Leistung			
		1991-2020		2021-2050	
		€/ha	%	€/ha	%
380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, base		640	100	533	83
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base		642	100	550	86
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, opt		1001	156	882	138
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, pess		440	69	364	57
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend		636	99	519	81
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base		610	95	554	87
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, opt		1015	159	960	150
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, pess		375	59	314	49
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.		667	104	614	96
		Düngermenge			
		1991-2020		2021-2050	
		kg/ha	%	kg/ha	%
<b>Silomais, pflugl.</b>					
380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, baseline		200	100	182	91
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, baseline		201	101	185	93
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, optimistisch		201	101	185	93
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, pessimistisch		201	101	185	93
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend		200	100	180	90
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, baseline		216	108	213	107
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, optimistisch		216	108	213	107
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, pessimistisch		216	108	213	107
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.		237	119	236	118
		Düngerkosten			
		1991-2020		2021-2050	
		€/ha	%	€/ha	%
380ppm CO <sub>2</sub> , ohne Bereg, baseline		291	100	265	91
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, baseline		291	100	269	92
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, optimistisch		248	85	229	79
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, pessimistisch		335	115	309	106
mit CO <sub>2</sub> -Erh, ohne Bereg, base, mit Trend		290	100	261	90
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, baseline		313	108	310	107
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, optimistisch		266	91	263	90
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, pessimistisch		360	124	356	122
mit CO <sub>2</sub> -Erh, mit Bereg, base, mit Trockenj.		344	118	342	118
		Berechnungsmenge			
		1991-2020		2021-2050	
		mm/ha	%	mm/ha	%
<b>Silomais, pflugl.</b>					
380ppm CO <sub>2</sub> , base		33	100	61	185
mit CO <sub>2</sub> -Erh, base		33	100	61	185
mit CO <sub>2</sub> -Erh, opt		33	100	61	185
mit CO <sub>2</sub> -Erh, pess		33	100	61	185
mit CO <sub>2</sub> -Erh, base, mit Trockenj.		79	239	111	336
		Berechnungskosten			
		1991-2020		2021-2050	
		€/ha	%	€/ha	%
380ppm CO <sub>2</sub> , base		122	100	164	134
mit CO <sub>2</sub> -Erh, base		122	100	164	134
mit CO <sub>2</sub> -Erh, opt		104	85	140	115
mit CO <sub>2</sub> -Erh, pess		140	115	189	155
mit CO <sub>2</sub> -Erh, base, mit Trockenj.		191	157	238	195